



**Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Manresa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Projecte Final de Carrera

# **Experiments amb 802.11 en configuració ad-hoc i infraestructura**

Autor: Playà Caamaño, Andreu

Tutor: Francisco del Águila

Manresa, 11 de gener de 2011

Molts agraïments a tots els que ens han ajudat a realitzar aquest projecte,  
especialment a la gent de guifibages,

Gracies.

# Índex

1.	Introducció .....	5
2.	Capa Física .....	6
2.1.	Modulació PSK .....	6
2.1.1.	BPSK .....	7
2.1.2.	QPSK .....	8
2.2.	DSSS .....	8
2.3.	OFDM .....	9
2.4.	Estàndards Wi-Fi: .....	9
2.4.1.	802.11a .....	10
2.4.2.	802.11b .....	10
2.4.3.	802.11g .....	10
2.4.4.	802.11g+ .....	11
2.4.5.	802.11n .....	11
3.	Capa d'enllaç .....	12
3.1.	Modes de funcionament .....	12
3.1.1.	Master .....	12
3.1.2.	Managed .....	12
3.1.3.	Ad-hoc .....	13
3.1.4.	Monitor .....	14
3.1.5.	WDS (Wireless Distribution System) .....	15
3.2.	Anunciament al medi .....	15
3.3.	CSMA/CA .....	16
3.3.1.	Backoff .....	19
3.4.	Càlcul teòric de la velocitat màxima .....	19
4.	Experiments .....	22

4.1.	Maquines .....	22
4.1.1.	Alix .....	22
4.1.2.	La Fonera.....	23
4.1.3.	Broadcom bcm4312 .....	25
4.1.4.	Conceptronic C54Ri .....	25
4.2.	Software .....	26
4.2.1.	OpenWRT .....	26
4.2.2.	Iperf.....	26
4.2.3.	Top.....	27
4.2.4.	Wireshark.....	28
4.3.	Mode infraestructura.....	28
4.3.1.	Muntatge .....	28
4.3.2.	Entorn sense interferències .....	29
4.3.3.	Entorn urbà .....	32
4.3.4.	Conclusions .....	34
4.4.	Mode Ad-Hoc.....	35
4.4.1.	Muntatge .....	35
4.4.2.	Ad-hoc entre foneres en un entorn sense interferències.....	36
4.4.3.	Ad-hoc entre foneres en un entorn urbà .....	39
4.4.4.	Ad-hoc amb alix .....	41
4.5.	Infraestructura amb CTS i RTS .....	42
4.5.1.	Mode g .....	42
4.5.2.	Conclusions .....	43
4.6.	Accés al medi amb dispositius iguals .....	43
4.6.1.	Muntatge .....	44
4.6.2.	Cap amb RTS i CTS .....	45
4.6.3.	Un amb RTS i CTS .....	45

4.6.4.	Els dos amb RTS i CTS .....	46
4.7.	Accés al medi Infraestructura contra ad-hoc .....	47
4.7.1.	Muntatge .....	47
4.7.2.	Cap xarxa amb CTS/RTS .....	48
4.7.3.	Xarxa ad-hoc amb CTS/RTS .....	49
4.7.4.	Xarxa infraestructura amb CTS/RTS.....	49
4.7.5.	Les dos xarxes amb CTS/RTS.....	50
4.7.6.	Conclusions .....	50
4.8.	Accés al medi amb dispositius diferents.....	50
4.8.1.	Broadcom vs Conceptronic .....	51
4.8.2.	Broadcom vs Atheros.....	54
4.8.3.	Conceptronic vs Atheros .....	58
4.8.4.	Conclusions .....	62
4.9.	Relació de l'ample de banda amb els nombre salts .....	62
4.9.1.	Muntatge .....	62
4.9.2.	Resultat.....	63
4.9.3.	Conclusions .....	63
4.10.	802.11b vs 82.11g.....	63
4.10.1.	Muntatge .....	64
4.10.2.	Resultat.....	64
4.10.3.	Conclusions .....	65
4.11.	BSS amb clients 802.11g i 802.11b enllaçats .....	65
4.11.1.	Muntatge .....	65
4.11.2.	Resultat.....	66
4.11.3.	Conclusions .....	66
4.12.	Node ocult.....	67
4.12.1.	Muntatge .....	67

4.12.2. Resultat.....	68
4.12.3. Conclusions .....	68
5. Resum de conclusions.....	69
6. Casos pràctics reals .....	70
6.1. Cas A:.....	70
6.2. Cas B:.....	70
6.3. Cas C: .....	71
6.4. Cas D: .....	72
6.5. Cas E:.....	73
7. Bibliografia.....	73

# **1. Introducció**

Actualment les xarxes inal·làmbriques són presents a molts llocs públics, com ara aeroports, bars, hotels, ... aquí a Manresa disposem d'una xarxa lliure anomenada Guifibages en que hi ha presents diversos nodes, aquesta xarxa es fa difícil d'analitzar degut a la complexitat i gran mida de la infraestructura, així doncs es fa necessari l'anàlisi a petita escala del comportament de casos concrets i simples.

El objectiu d'aquest projecte és, conèixer detingudament el comportament de les xarxes wireless, i analitzar el funcionament dels modes b i g especificats en el protocol 802.11. Per aconseguir-ho utilitzarem diferents dispositius i els sotmetrem a diferents circumstàncies per tal d'obtenir una conclusió.

Més concretament els objectius fixats són:

- Entendre el funcionament de les xarxes wireless.
- Entendre el funcionament dels modes ad-hoc i infraestructura.
- Crear una petita xarxa i establir diferències entre diferents algorismes d'accés al medi.
- Obtenir una comparativa del funcionament de la capa mac de diferents dispositius.
- Crear una guia per entendre el funcionament de Guifibages i poder identificar fàcilment les causes de les possibles fonts d'errors, per tal de poder solucionar-los.

L'estructura d'aquest treball consistirà en una introducció del funcionament de la capa física, i d'enllaç del protocol 802.11. Aquesta part anirà seguida d'unes probes per comprovar el comportament real del descrit a la part anterior. I finalment plantejarem les solucions més adequades a casos concrets que es poguessin donar en la realitat.

## 2. Capa Física

Per tal de poder explicar el perquè de que cada modulació 802.11 tingui uns valors fixos de transmissió de dades, cal anar fins a la capa física on es passa de seqüència binària a senyal electromagnètica.

Cada estàndard té associat un tipus de modulació, a trets generals 802.11b utilitza una modulació tan sols de fase (PSK) conjuntament amb una tècnica d'eixamplament d'espectre, per donar-li robustesa al senyal, anomenada DSSS, i 802.11 a i g que fan servir una modulació OFDM que modula fase, amplitud i freqüència tot alhora.

### 2.1. Modulació PSK

És una forma de modulació angular que consisteix en fer variar la fase de la portadora entre diferents valors discrets depenent de la senyal digital moduladora; per exemple en el cas més simple al valor 0 se li assigna fase  $0^\circ$  i al valor 1,  $180^\circ$ ; amb aquesta assignació de valors definim la PSK més simple, la BPSK. Així doncs, per a una seqüència d'entrada "1001" obtindríem una senyal temporal, com la següent:

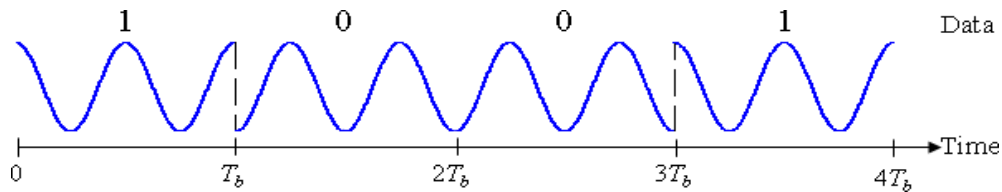


Fig. 2.1-1

Aquest sistema no està limitat a només 2 fases, es pot expandir a 4, 8 o 16 agafant grups de 2, 3 o 4 bits del senyal modulador. La única limitació és el soroll (com més valors més sensible a la variació).

Així doncs una modulació PSK d'un bit s'anomenarà BPSK; una de 2 bits, QPSK; una de 3 bits, 8-PSK; una de 4, 16-PSK; etc.

#### Modulación QPSK

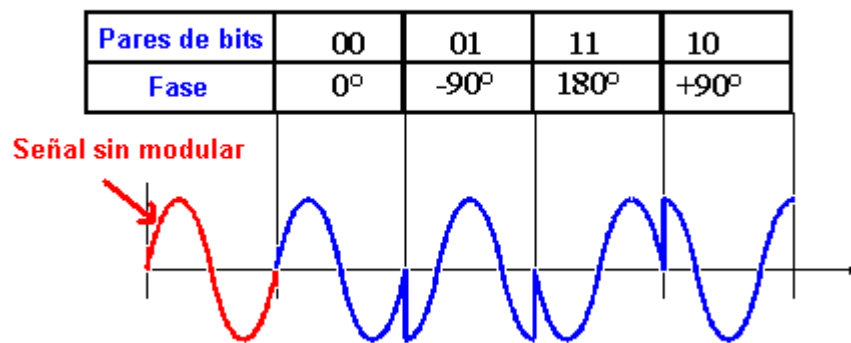


Fig. 2.1-2



La figura [Fig. 2.1-2] mostra el concepte d'una modulació QPSK en que s'agafen els bits a parells i se'ls hi atorga un valor en fase, així doncs una seqüència 00 li correspon una fase  $0^\circ$ ; la seqüència 01 li correspon  $-90^\circ$ ; la seqüència 11,  $180^\circ$ ; i la seqüència 10,  $+90^\circ$ ;

Degut a que el més comú és codificar un nombre enter de bits per cada símbol, el nombre de fases a prendre és una potencia de dos. Així doncs tindrem BPSK amb 2 fases, QPSK amb 4 fases, 8-PSK amb 8 fases i així successivament. Com més nombre de fases més informació es pot transmetre utilitzant el mateix ample de banda.

Les modulacions BPSK i QPSK són òptimes des de el punt de vista de protecció en front errors. La gran avantatge de les modulacions PSK és que la potencia és la mateixa per tots el símbols.

Existeixen dos tipus de modulació PSK: convencional, on es tenen en compte els desplaçaments de la fase, i diferencial, on es consideren les diferències entre un salt de fase i l'anterior; és a dir una QPSK diferencial només es pot passar d'un valor a l'altre augmentant o decremantant  $90^\circ$  de manera que en comptes de 4 valors només en transmetem 1 alhora si incrementem  $+90^\circ$  per exemple equivaldria a 1 i decrementar  $90^\circ$  un 0, així s'aconsegueix una senyal més robusta, amb detecció d'errors i sempre mantenint la mateixa amplitud en tots els canvis de fase, fent així més simples els circuits que intervenen en la modulació i demodulació de la senyal.

En el estàndard 802.11b, segons les velocitats que vulguem, empram una varietat de la modulació o una altra : a 1Mbps DBPSK, a 2Mbps DQPSK. Per a 5,5Mbps i 11Mbps utilitza QPSK.

### 2.1.1. **BPSK**

És la més senzilla ja que només empram dos símbols, amb un bit d'informació cada un. La probabilitat d'error és baixa degut a la seva màxima separació entre salts de fase ( $180^\circ$ ), no obstant la seva velocitat de transmissió és la més baixa de les modulacions de fase.

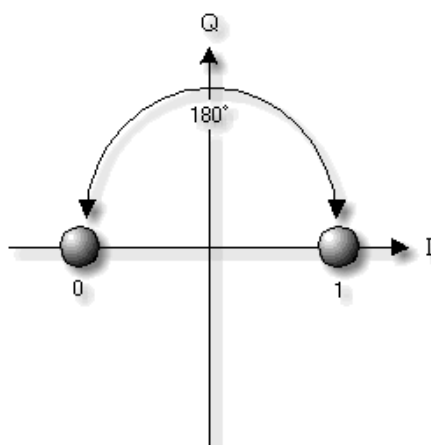


Fig. 2.1-3

### 2.1.2. QPSK

Empren 4 símbols desplaçats entre si  $90^\circ$ , i cada símbol aporta 2 bits. Els valors de salt de fase solen ser 45, 135, 225 i 315. L'assignació de bits a cada símbol sol fer-se mitjançant el codi Gray. Es realitza així per tal de minimitzar els bits erronis.

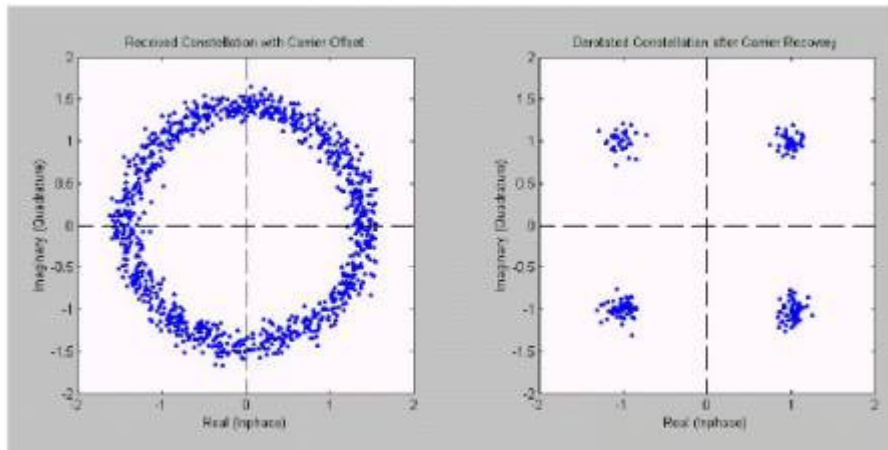


Fig. 2.1-4

## 2.2. DSSS

Espectre expandit per seqüència directa. És una tècnica que es basa en substituir cada bit de informació per una seqüència de bits coneguda com a xips. Aquests codis de xips permeten als receptors eliminar per filtrat els senyals que no utilitzen la mateixa seqüència de bits i per les propietats matemàtiques que presenta la seqüència fa que sigui ideal per emetre per radio, permetent reduir l'efecte del soroll i les interferències.

El codi de xips permet al receptor identificar les dades com a pertinents d'un emissor determinat, és a dir, l'emissor genera el codi de xips i tan sols els receptors que coneixen aquest codi poden desxifrar les dades. Per tant, aquesta tècnica permet que varis sistemes puguin funcionar en paral·lel ja que cada receptor filtrarà exclusivament les dades que corresponguin al seu codi de xips.

Un cop aplicada aquesta seqüència, l'estàndard 802.11 aplica dos tipus de modulació: la DBPSK per a 1 Mbps i la DQPSK per a les modulacions de 2, 5.5 i 11 Mbps.

## 2.3. OFDM

Multiplexació per divisió de freqüències ortogonals<sup>1</sup>. Aquesta tècnica divideix l'ample de banda en subcanals més petits que operen en paral·lel. D'aquesta manera s'aconsegueix arribar a velocitats de fins a 54 Mbps.

OFDM divideix l'ample de banda disponible (22MHz) en 64 subportadores ortogonals entre elles: 48 d'aquestes subportadores són utilitzades per transmetre dades, 4 per poder sincronitzar les freqüències en el receptor, 1 portadora és un zero situat al centre de l'espectre i les 11 restants són emprades per afegir redundància al senyal per fer-lo més robust. Cada una de les subportadores es modula en QAM o PSK en funció de la relació senyal/soroll, SNR; depenent del tipus de modulació utilitzada en les subportadores obtindrem les diferents velocitats de 802.11 a i g.

La modulació OFDM envia la informació en paquets anomenats macrosímbols, com el de la figura [Fig. 2.3-1], entre la emissió de cada macrosímbol i el següent, a nivell temporal, es deixa un temps per evitar que es solapin entre ells, aquest temps se l'anomena interval de guarda.

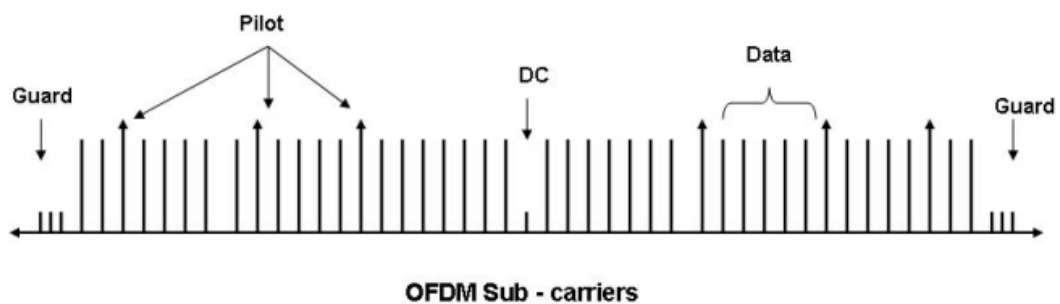


Fig. 2.3-1

El motiu pel qual hi ha 64 portadores és perquè quan es fa una FFT (o IFFT) l'algorisme és més eficient si les dimensions de la matriu que s'utilitza per resoldre aquesta operació és múltiple de 2x.

## 2.4. Estàndards Wi-Fi:

Dins l'estàndard 802.11 existeixen diferents sub-estàndards, cadascú amb les seves característiques. Els principals són:

---

<sup>1</sup> Dues freqüències  $f_i(t)$ ,  $f_j(t)$  són ortogonals entre elles, si i només si  $\int f_i(t) * f_j(t) dt = 0$  si  $i \neq j$

### 2.4.1. **802.11a**

Permet velocitats de fins a 54 Mbps operant a la banda de 5 GHz. Utilitza la tècnica OFDM. La velocitat de dades es pot reduir a 48, 36, 24, 12, 9 o 6 Mbps depenent de la SNR (relació senyal-soroll) en el medi. Aquest estàndard treballa dins de 12 canals sense solapament [Fig. 2.4-1], dels quals 8 estan destinats a xarxes inal·làmbriques i 4 per connexions punt a punt.

Channel Identifier	36	40	44	48	52	56	60	64		149	153	157	161
Center Frequency	5180	5200	5220	5240	5260	5280	5300	5320		5745	5765	5785	5805
Band	UNII-1				UNII-2					UNII-3			

Fig. 2.4-1

Els principals avantatges d'aquest estàndard són, que té més canals no solapats que b/g i la freqüència, ja que la freqüència de 2.4 GHz està molt ocupada, hi ha molts dispositius wifi ocupant-la, a més d'altres dispositius que també l'utilitzen com ara la telefonia mòbil i les microones, fent que tinguin moltes més interferències. Això també té els seus inconvenients, ja que aquesta banda de freqüència és més susceptible de rebre interferències ambientals i per tant la distància on poden arribar aquests dispositius es redueix.

### 2.4.2. **802.11b**

Opera en la banda de 2.4 GHz i té una velocitat màxima teòrica de 11 Mbps, utilitza la modulació PSK amb DSSS. I està separat amb els mateixos catorze canals que l'estàndard 802.11g.

### 2.4.3. **802.11g**

Utilitza una banda de 2.4 GHz i opera a una velocitat teòrica màxima de 54 Mbps. Utilitza OFDM i la velocitat es pot reduir, segons la relació senyal-soroll, a 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6. Funciona igual que l'estàndard 802.11a a la freqüència de 2.4 GHz.

Tant l'estàndard b com g treballen en 14 canals solapats, de manera que només podem tenir 3 canals sense cap solapament entre ells alhora. No tots els països permeten els 14 canals, la normativa de cada país regula els que es poden utilitzar i els que no. A Espanya només està permès utilitzar fins al 12, tot i que en general a Europa permeten fins al 13, a Amèrica fins al 11, i només a Japó permeten utilitzar els 14 canals.

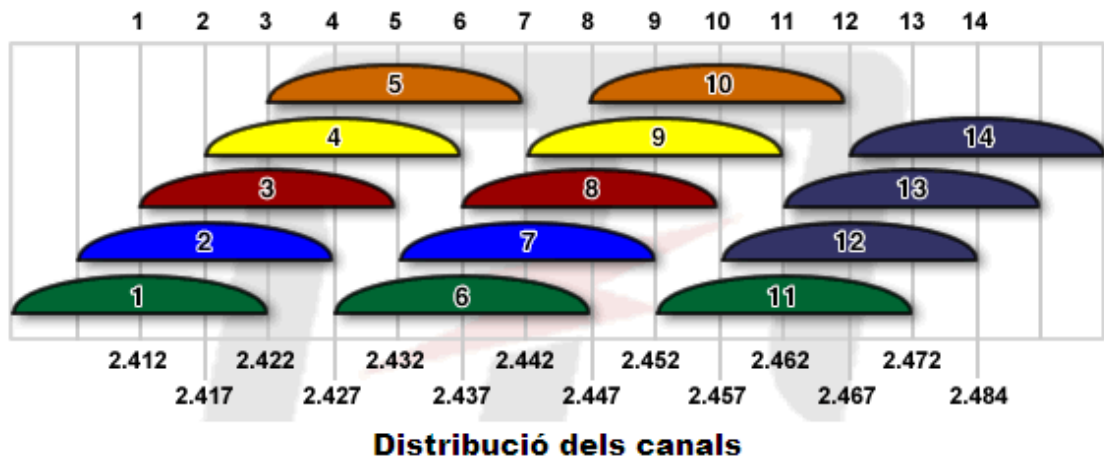


Fig. 2.4-2

#### 2.4.4. 802.11g+

És una modificació de l'estàndard g en que s'utilitzen dos canals a la vegada permetent una velocitat màxima teòrica de 108 Mbps, també opera a 2.4 Ghz.

#### 2.4.5. 802.11n

Aquest estàndard podria arribar fins a 600 Mbps, tot i que actualment assolix 300 Mbps teòrics. És compatible amb tots els dispositius basats amb a, b i g. Es basa en estàndards anteriors afegint MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) i unió d'interfícies de xarxa (Channel Bonding), a més d'afegir trames a la capa MAC.

MIMO utilitza múltiples antenes transmissores i receptors per millorar el funcionament del sistema. Els beneficis més importants de 802.11n són la diversitat d'antenes i la multiplexació espacial.

El Channel Bonding permet utilitzar canals separats, que no es solapin, per transmetre dades simultàniament.

### 3. Capa d'enllaç

#### 3.1. Modes de funcionament

Els adaptadors inal·làmbrics, dispositius de xarxa que compleixen l'estàndard 802.11, poden funcionar de quatre modes diferents, des del punt de vista de la topologia. Tot i que no tots els dispositius poden funcionar amb tots els modes. Els diferents modes són:

##### 3.1.1. Master

És el mode amb el que funcionen els punts d'accés (AP). Els dispositius en mode managed es connecten a un adaptador amb aquest mode, el qual s'encarrega de gestionar totes les comunicacions entre els diferents nodes. Totes les comunicacions entre els nodes enllaçats a un mateix punt d'accés passen per aquest, així dos nodes que no tinguin visió directa entre ells, però si amb el punt d'accés poden comunicar-se entre ells. Encara que els nodes tinguessin visió directa, tota la comunicació ha de passar sempre pel punt d'accés.

##### 3.1.2. Managed

Els dispositius que es connecten a un punt d'accés treballen en aquest mode. La topologia formada pels adaptadors (funcionant en aquest mode), connectats a un punt d'accés (el qual funciona en mode master), s'anomena infraestructura.

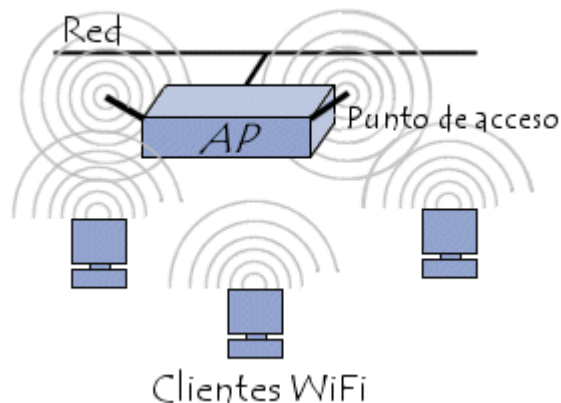


Fig. 3.1-1

La configuració formada pel punt d'accés i les estacions situades dins de l'àrea de cobertura s'anomena *conjunt de servei bàsic* o **BSS**. Cada BSS s'identifica a través d'un BSSID (identificador de BSS), un identificador de 6 bytes.

Es poden vincular diversos punts d'accés, o més exactament diversos BSS, per formar un conjunt de servei estès o ESS. Els diferents punts d'accés es poden connectar per cable o inal·làmbricament.

Quan un usuari va d'un BSS a un altre, mentre es mou dintre del ESS, l'adaptador de xarxa pot canviar el punt d'accés al que està enllaçat, sense perdre en cap moment la connexió amb l'ESS, aquesta característica s'anomena itinerància. Els diferents punts d'accés es poden comunicar entre si per intercanviar informació sobre les estacions, i si fos necessari transmetre dades entre les estacions. Si un adaptador de xarxa té accés a més d'un punt d'accés del mateix ESS, es connectarà amb aquell de qui rebí la senyal amb més qualitat.

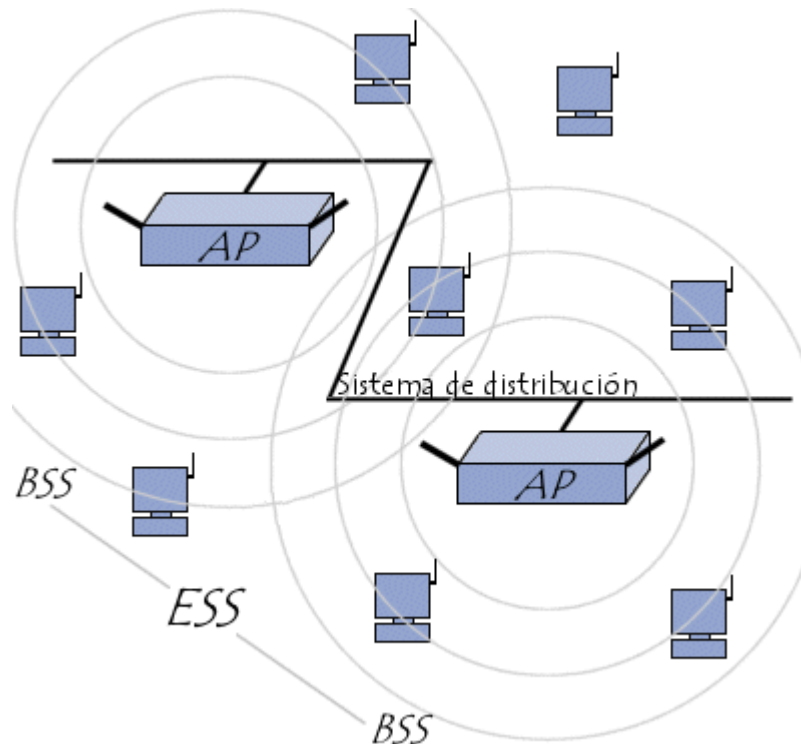


Fig. 3.1-2

Un ESS se identifica a través d'un ESSID (identificador del conjunt del servei estès), un identificador de 32 caràcters que actua com a identificador de la xarxa.

### 3.1.3. **Ad-hoc**

En el mode ad hoc els clients inal·làmbrics es connecten entre si per formar una xarxa punt a punt, una xarxa en la que cada equip actua com a client i com a punt d'accés a la vegada.

Aquest mode i el mode managed són els modes més simples, i la immensa majoria d'adaptadors wireless els suporten. Qualsevol targeta que puguem comprar en una botiga pot funcionar amb aquests dos modes com a mínim.

La conjunt d'estacions format pels nodes s'anomena *conjunt des servei basic independent* (IBSS). Un IBSS es una xarxa inal·làmbrica que té almenys dos estacions i no té cap punt d'accés.

En aquesta topologia cada node només pot comunicar-se amb els nodes amb que té visió directa; al contrari que amb el mode infraestructura, on un node enllaçat amb un punt d'accés es pot comunicar amb tots els nodes enllaçats amb el punt d'accés.

Però si definim correctament les rutes dels paquets, o utilitzem algun protocol d'enrutament que guiï automàticament els paquets, tots els nodes de la xarxa ad-hoc poden arribar-se a comunicar entre ells. D'aquesta manera podem aconseguir una xarxa amb una cobertura tant gran com la suma de les cobertures de tots els seus nodes.

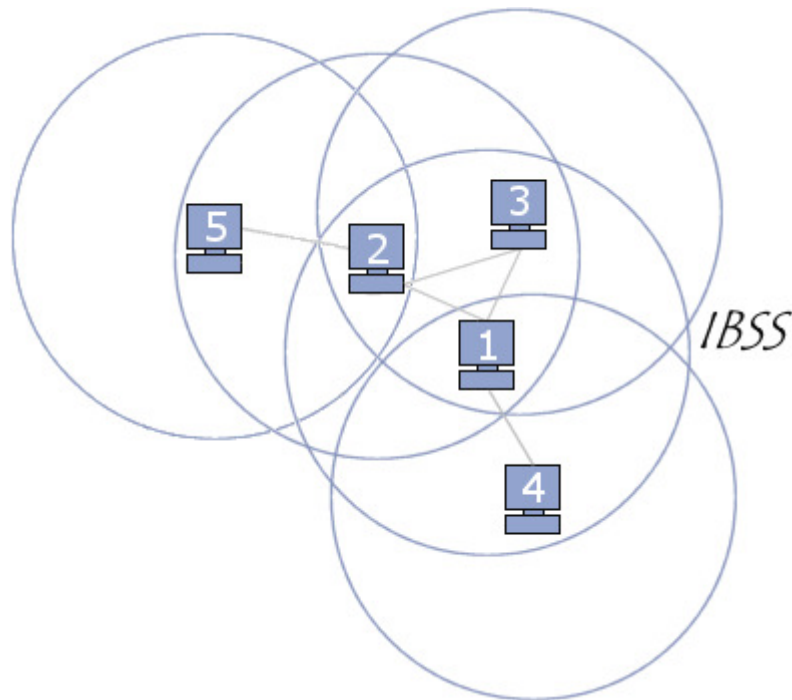


Fig. 3.1-3

Per exemple en la Fig. 3.1-3, si es tractés d'una xarxa ad-hoc normal el node 2, podria comunicar-se amb el 3, l'1 i el 5, però no amb el 4. Si fos una xarxa amb la topologia d'infraestructura amb el node 1 com a punt d'accés, el node 2 podria comunicar-se amb els nodes 4 i el 3 a través de l'AP, però no amb el 5 tot i estar al seu rang de cobertura. En canvi si fos una xarxa ad-hoc amb un protocol d'enrutament tots els nodes podrien comunicar-se entre ells, i es tractaria d'una xarxa mesh.

L'avantatge d'aquesta tipologia és la seva simplicitat i la seva facilitat de desplegament, es poden comunicar 2 ordinadors directament sense necessitat d'un punt d'accés, únicament amb els adaptadors de xarxa. L'inconvenient és que funcionen pitjor que les xarxes amb mode infraestructura, degut a la inexistència d'un punt d'accés que gestioni les comunicacions.

#### 3.1.4. **Monitor**

Aquest mode, també anomenat mode promiscu, permet a un adaptador de xarxa capturar tots els paquets que s'estan enviant dins la seva àrea de



cobertura, siguin per a l'adaptador de xarxa que siguin. Normalment s'utilitza aquest mode juntament amb programes analitzadors de protocol (sniffers), que permeten capturar i analitzar el tràfic que hi hagi en el seva area de cobertura.

Aquest mode, juntament amb l'ajuda d'alguns programes específics, es pot fer servir, per exemple, per descobrir la clau WEP d'una xarxa inal·làmbrica.

### 3.1.5. WDS (Wireless Distribution System)

Abans hem dit que només hi han quatre modes de funcionament, i es que el mode WDS no és pròpiament un mode. Realment funciona com a mode master, però permet interconnectar diversos punts d'accés amb aquest mode per tal d'augmentar l'àrea de cobertura. És un sistema per interconnectar inal·làmbriament diversos punts d'accés d'un ESS.

## 3.2. Anunciament al medi

Els punts d'accés i els clients ad-hoc envien periòdicament senyals, anomenades beacons, per informar de la seva presència a totes les estacions dins el seu rang de cobertura.

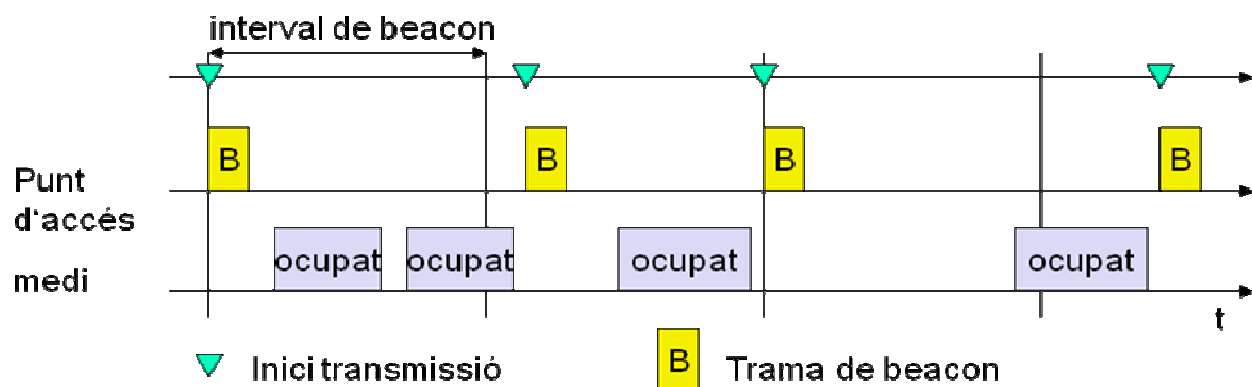


Fig. 3.2-1

En una xarxa Infraestructura les trames de beacon són enviades periòdicament, un cop dins cada interval de temps, pel punt d'accés. Si el medi està ocupat, s'esperarà a que el medi estigui lliure, per enviar-lo tan aviat com sigui possible.

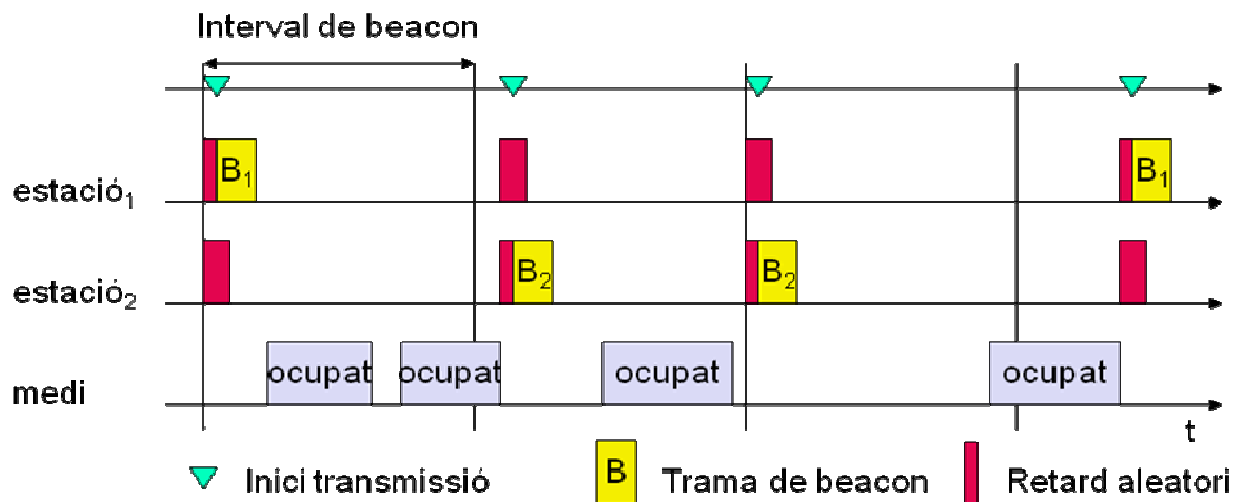


Fig. 3.2-2

En el cas de les xarxes ad-hoc, no hi ha una única estació enviant els beacons, si no que es va canviant qui els envia, per tal de que totes les estacions es puguin anunciar, i per tant sigui possible enllaçar-se amb qualsevol estació. En aquest cas cada estació també espera, dins la finestra de temps, que el medi estigui lliure per enviar el beacon, però abans d'enviar-lo s'espera un temps aleatori, de manera que l'estació que s'espera un temps més petit serà la que enviarà el beacon d'aquest interval de beacon, enviant-se un sol beacon per totes les estacions que tinguin cobertura entre elles, en cada interval.

Els beacon i probe-response, a més d'anunciar-se al medi serveixen per definir les característiques que tindrà l'enllaç, com per exemple les modulacions que es permeten, si es tracta d'ad-hoc o infraestructura, si es permet el short slot time,...

### 3.3. CSMA/CA

802.11bg opera a la freqüència de 2.4 GHz, la qual és una banda de l'espectre lliure, es a dir, teòricament, la pot utilitzar qualsevol per a fins mèdics, industrials o científics, tot i que a la pràctica també es fa servir per a usos comercials. Tot això implica que molta gent utilitza la mateixa banda de freqüències, i que per tant haurem de compartir el canal amb altres usuaris aliens a la nostra xarxa. Així doncs fa falta una manera de compartir aquest medi, per això s'implementa un sistema de compartició del medi anomenat CSMA (*Carrier Sense Multiple Acces*), concretament les comunicacions wireless utilitzen la variant CA (*Collision Avoidance*) que, a part de detectar possibles col·lisions de paquets, evita que aquestes es produeixin.

El funcionament del CSMA/CA és el següent: cada dispositiu indica que vol transmetre abans de fer-ho, d'aquesta manera es reserva el canal i s'evita que altres dispositius enviïn informació i es produeixin col·lisions.

Així doncs quan una estació vol transmetre comprova si el canal està lliure. Si és així, espera un temps i si continua lliure, transmet; sinó espera que estigui lliure i llavors transmet.

Si la trama que es pretén transmetre és curta s'envia directament. Generant-se un NAV (*Network Allocation Vector*) que indica el temps en que es preveu completar la transacció (enviar dades i rebre ACK).

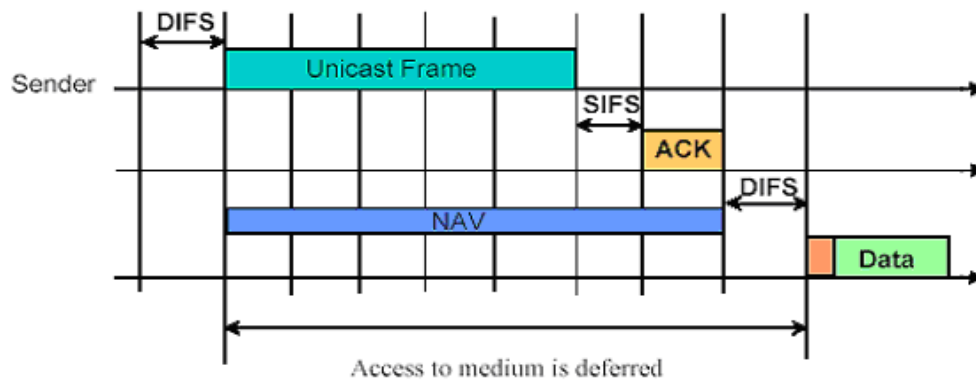


Fig. 3.3-1

La reserva d'aquest temps queda reflectida en el camp Duration de la capçalera MAC que marca el temps d'ús del canal, aquest mètode s'utilitza per tal d'estalviar energia dels equips expectants, així doncs aquests no faran intents de comprovació del canal sinó que romandran en repòs fins que hagi passat el temps de NAV.

Passat el temps de contenció (DIFS) cada estació espera un temps aleatori anomenat backoff. Aquest temps és necessari ja que si una estació sempre fos la primera a enviar, pel motiu que sigui, aquesta tindria prioritat sobre les altres.

Com que el temps d'espera és aleatori la primera estació a emetre serà sempre diferent i es repartiran el medi equitativament.

Quan la trama que es pretén enviar és llarga, s'implementa un sistema de reserva del canal:

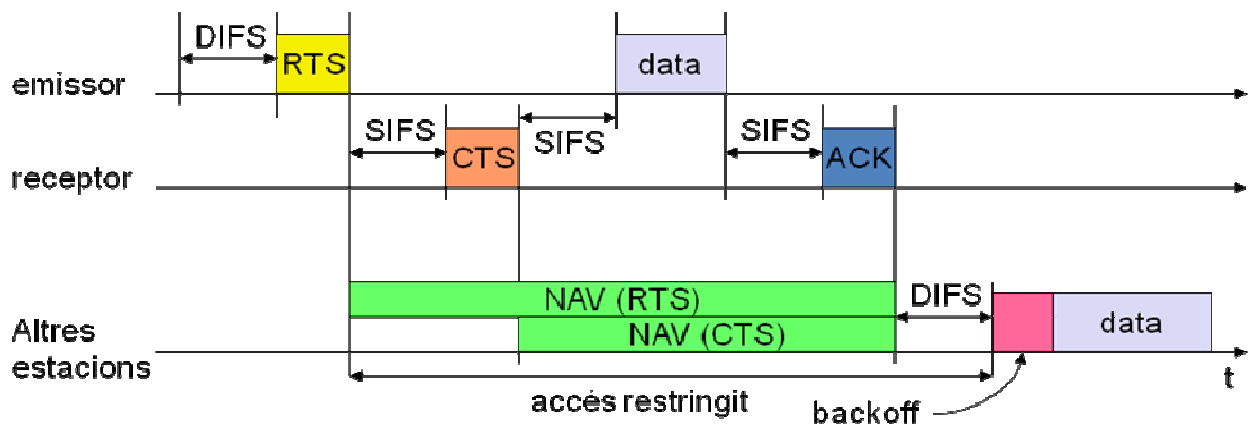


Fig. 3.3-2

L'estació emissora envia un paquet RTS (*Request To Send*), de durada molt curta, que conté les direccions MAC de l'equip d'origen i destí per tal de reservar el medi, a continuació la estació receptora respon amb un CTS (*Clear To Send*) si l'espai està lliure. Automàticament totes les altres estacions que estan als voltants i al mateix canal no tenen permès d'emetre durant el període que s'ha demanat, evitant així col·lisions amb les dades que es pretenen enviar.

L'emissor rep un CTS que li dona llum verda per enviar les dades, un cop el receptor ha rebut les dades, i si no es detecten errors en la trama aquest respon amb un ACK. Un cop s'ha enviat l'ACK tots els dispositius s'esperen un temps de contenció (DIFS), i després un temps de backoff aleatori abans de poder tornar a transmetre.

En algunes ocasions, quan el paquet és massa gran temporalment, aquest es pot separar en fragments més petits. D'aquesta manera es és més resistent a interferències, però es redueix la velocitat de transmissió. Normalment això succeeix en les modulacions més baixes, ja que és on els paquets ocupen més temporalment.

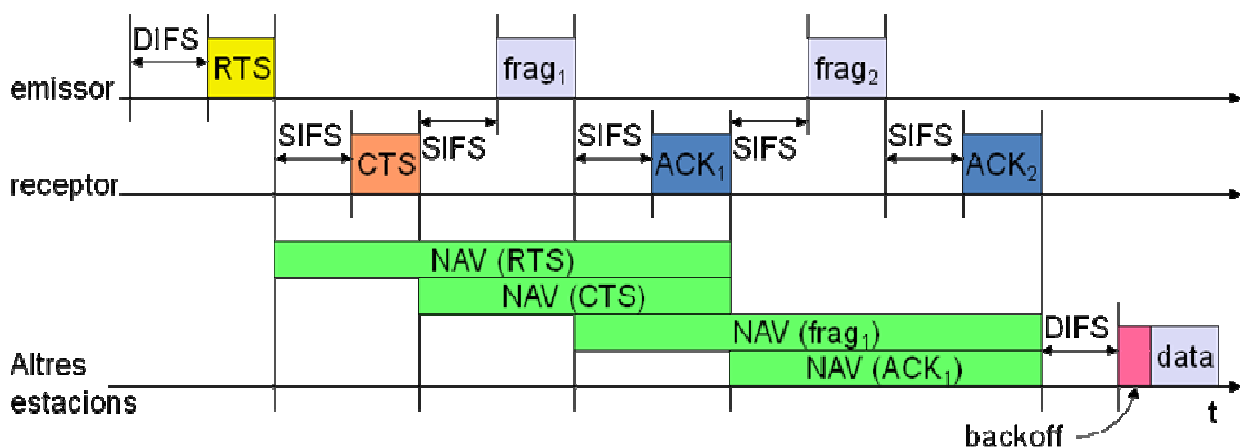


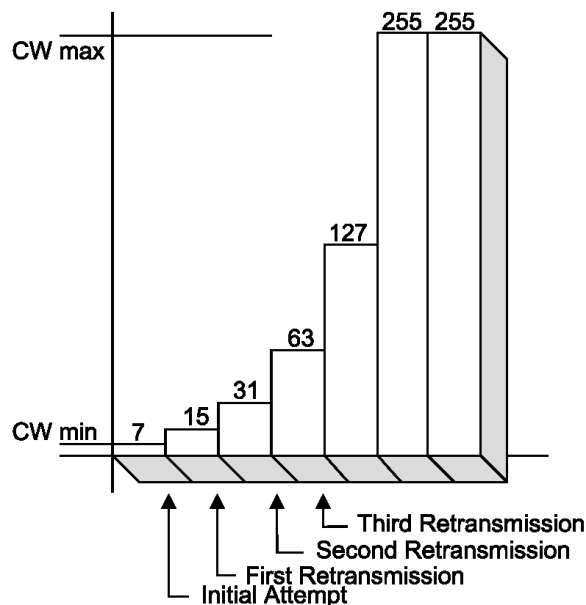
Fig. 3.3-3

### 3.3.1. Backoff

S'espera un temps de backoff, quan el medi esta ocupat abans d'una transmissió, i després de cada transmissió. La durada d'aquest temps calcula segons l'algorisme descrit a continuació.

$$T_{\text{backoff}} = \text{random}() * T_{\text{slot}}$$

On la funció  $\text{random}()$ , pren qualsevol valor enter entre 0 i CW (Contention Window) . On CW es calcula  $2^{n+3} - 1$ , on  $n$  ( $n \in \mathbb{N}$ ) és el nombre d'intents de transmetre, tenint en compte que CW pot prendre un valor màxim de 255. Per exemple, si fos el tercer intent de retransmetre, ja que les interiors vegades s'havia trobat el canal ocupat,  $\text{random}$  prendrà un valor entre 0 i 63 ( $2^{3+3}-1$ ), i el temps de backoff serà aquest valor multiplicat pel temps de slot.



El valor de CWmin i CWmax pot ser diferent per a cada protocol de 802.11, i estan definits en l'estàndard IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007.

### 3.4. Càlcul teòric de la velocitat màxima

Coneixent les dimensions dels paquets CTS, RTS i ACK, i la grandària de la trama de dades, podem fer una estimació de l'ample de banda per a cada modulació utilitzant cada un dels algorismes, amb RTS/CTS i sense.

Tenint en compte que en 802.11b un SIFS són 10µs i un DIFS 50µs ( $\text{DIFS} = 2 * T_{\text{slot}} + \text{SIFS}$ ) i que les dimensions dels paquets són 46B pels RTS i ACK i 52B per un RTS; podem calcular l'ample de banda que obtindrem si enviem un paquet de dades de la màxima grandària, que és quan s'obté el màxim aprofitament del canal.

Així, per a una modulació de 11 Mbps, podem calcular quin ample de banda ofendríem de la següent manera:

Una trama de dades amb capçaleres ocupa 1566B, per tant el paquet s'enviarà en:

$$\frac{1566B}{11Mbps} \times \frac{8b}{1B} = 1138'91\mu s$$

Si tenim en compte la grandària dels paquets RTS i ACK i sabem que aquests s'envien a 11Mbps el temps serà:

$$\frac{46B}{11Mbps} \times \frac{8b}{1B} = 33'45\mu s$$

Fem el mateix amb un CTS de longitud 52B:

$$\frac{52B}{24Mbps} \times \frac{8b}{1B} = 37'82\mu s$$

Si tenim en compte que un  $T_{slot}$  dura 20  $\mu s$  i que estem fent els càlculs pel millor cas possible on no hi ha interferències i per tant no hi haurà retransmissions tenim de mitjana un temps de backoff de 70  $\mu s$ . Ja que `random()` prendrà un valor entre 0 i 7, el backoff prendrà un temps entre 0 i 140  $\mu s$ , per tant de mitjana tindrem 70  $\mu s$  per paquet.

En una comunicació simple, sense RTS/CTS, es transmetrà 1470B de informació en el temps:

$$t = t_{DATA} + SIFS + t_{ACK} + DIFS + BKO = 1138'91\mu s + 10\mu s + 33'45\mu s + 50\mu s + 70\mu s$$

$$t = 1302'36\mu s$$

Per tant l'ample de banda serà:

$$BW = \frac{1470B}{1302'36\mu s} \times \frac{8b}{1B} = 9'03 Mbps$$

Per a una comunicació amb RTS/CTS:

$$t = t_{RTS} + t_{CTS} + t_{ACK} + t_{DATA} + 3 * SIFS + DIFS + BKO = 1393'64\mu s$$

$$BW = \frac{1470B}{1393'64\mu s} \times \frac{8b}{1B} = 8'44 Mbps$$

Per fer els càlculs amb 802.11g hem de tenir en compte que en absència de clients enllaçats amb 802.11b al mateix BSS, s'utilitza el short slot time on el  $t_{slot}$  és de 9  $\mu s$ , i que un SIFS es de 16  $\mu s$ , fent que el DIFS sigui de 34  $\mu s$  ( $DIFS = 2 * T_{slot} + SIFS$ ). I que els paquets de RTS, CTS i ACK no s'envien sempre amb la mateixa modulació utilitzada; sinó que només poden emprar les modulacions 24, 12 i 6.

Si fem els càlculs anteriors amb totes les modulacions obtenim, la relació entre la velocitat de modulació utilitzada, i la velocitat de transmissió de dades (en els quals no s'ha tingut en compte els temps de propagació):

Modulació	BW [Mbps]	
	Sense CTS/RTS	Amb CTS/RTS
54	35,76	29,89
48	32,86	27,83
36	26,44	23,08
24	19,00	17,21
18	14,55	12,99
12	10,17	9,38
9	7,66	6,93
6	5,27	4,91

Modulació	BW [Mbps]	
	Sense CTS/RTS	Amb CTS/RTS
11	9,03	8,44
5.5	4,75	4,46
2	1,79	1,68
1	0,90	0,85

## 4. Experiments

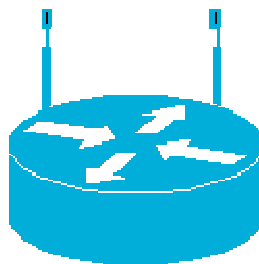
### 4.1. Maquines

Els diferents dispositius utilitzats en les diverses proves són:

#### 4.1.1. Alix

Es tracta d'un dispositiu molt potent, amb una CPU AMD. Per defecte porta 2 slots per ràdios, 2 entrades per a dispositius USB i un slot per a compact flash (on s'instal·la el sistema operatiu). Concretament el model utilitzat és ALIX3D2/LX800.

Per les proves s'hi ha instal·lat un sistema operatiu OpenWRT igual a l'utilitzat en els nodes de guifibages.



**Símbol**

Aquest és el símbol que utilitzarem en els esquemes de muntatge

A continuació tenim la informació de la CPU de la Alix, on podem veure que té una CPU amb una capacitat més que suficient pel que realitzarem.

```
processor      : 0
vendor_id     : AuthenticAMD
cpu family    : 5
model         : 10
model name    : Geode(TM) Integrated Processor by AMD PCS
stepping      : 2
cpu MHz       : 498.050
cache size    : 128 KB
fdiv_bug      : no
hlt_bug       : no
f00f_bug      : no
coma_bug      : no
fpu           : yes
fpu_exception : yes
cpuid level   : 1
wp            : yes
```



```

flags      : fpu de pse tsc msr cx8 sep pge cmov clflush mmx mmxext 3dnowext
            3dnow
bogomips   : 997.24
clflush size : 32

```

#### 4.1.2. La Fonera

Es tracta d'un router, que té la capacitat de canviar-li el firmware que porta. Utilitza un xipset atheros, te una memòria flash de 8MB i una ram de 16MB; un dels principals problemes d'aquest dispositiu és la seva limitada capacitat de CPU. Al igual que l'alix van ser reprogramades utilitzant OpenWRT, concretament el mateix firmware, amb els mateixos paquets i scripts que utilitza qualsevol node de Guifibages.



**Fig. 4.1-1**

Les característiques de la CPU d'una fonera són:

```

system type      : Atheros AR2315
processor        : 0
cpu model        : MIPS 4KEc V6.4
BogoMIPS         : 183.50
wait instruction : yes
microsecond timers : yes
tlb_entries      : 16
extra interrupt vector : yes
hardware watchpoint : no
ASEs implemented :
shadow register sets : 1
core             : 0
VCED exceptions   : not available

```

La CPU de la fonera ens limita l'ample de banda, ja que es incapaç de processar la informació prou ràpid. És per això que es realitzarà una prova per determinar l'ample de banda màxim d'aquests dispositius.

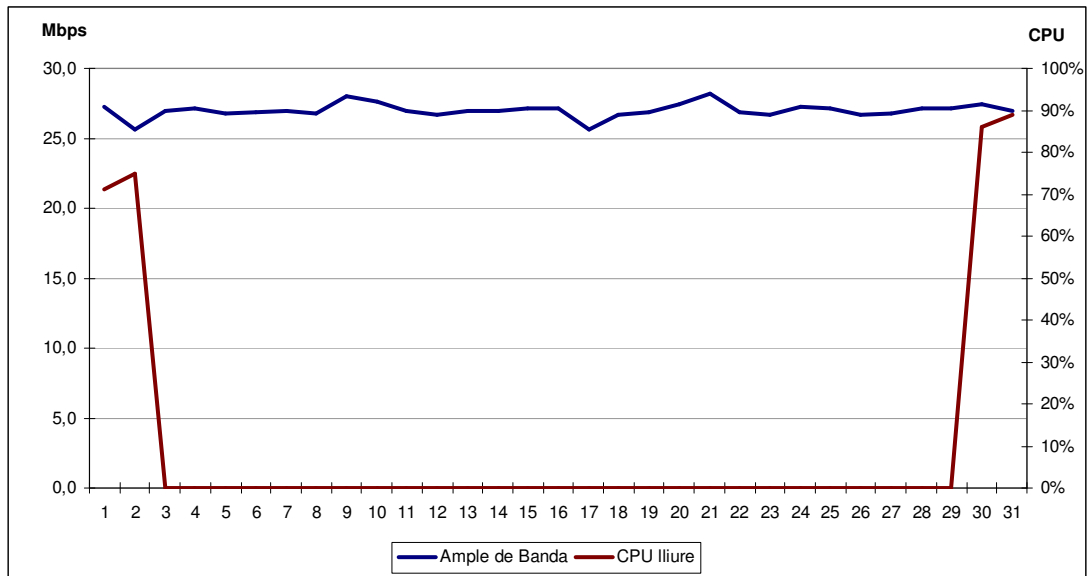


Fig. 4.1-2

S'observa com en una transmissió per cable ethernet, la CPU es satura quan aquesta ha de processar transmissions de més de 27 Mbps, convertint aquest valor en l'ample de banda màxim que poden suportar. Això implica que es converteix en un coll d'ampolla, limitant tota transmissió que passi per aquests dispositius.

S'ha utilitzat aquest dispositiu perquè és molt similar a les estacions Ubiquiti [Fig. 4.1-3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**] utilitzades per Guifibages. Si mirem les característiques d'una Ubiquiti Nanostation que tenim a continuació veiem fan servir la mateixa CPU, també tenen 16 MB de Ram, però només tenen 4 MB de Flash.

Processor Specs: Atheros AR2315 SOC, MIPS 4KC, 180MHz  
Memory Information: 16MB SDRAM, 4MB Flash  
Networking Interface: 1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface  
Approvals: FCC Part 15.247, IC RS210  
RoHS Compliance: YES  
Antenna: Integrated antenna array + External RP-SMA  
Power Supply: 12V, 1A (12 Watts). Supply and injector included  
Power Method: Passive Power over Ethernet (pairs 4,5+; 7,8 return)  
Operating Temperature: -20C to +70C (System PCB optimized for hi-temp)  
Weight: 0.4 kg



Fig. 4.1-3

#### 4.1.3. **Broadcom bcm4312**



**Símbol**

La broadcom bcm4312 és el model de la targeta wifi, que porten els netbooks utilitzats en les proves. Amb el driver adequat aquesta targeta pot posar-se en mode monitor i per tant, pot utilitzar-se per snifar paquets (capturar tots els paquets que rebi la targeta, encara que no siguin dirigits a ella, ni de la pròpia xarxa).

#### 4.1.4. **Conceptronic C54Ri**

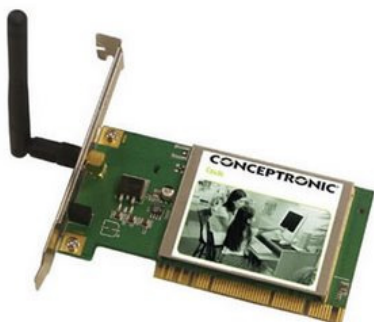
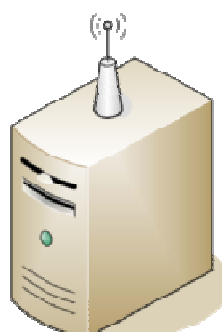


Fig. 4.1-4



**Símbol**

La conceptronic C54Ri és un model de targeta PCI connectada a una torre, com qualsevol altra. Suporta els modes de 802.11b i 802.11g.

## 4.2. Software

### 4.2.1. OpenWRT

OpenWrt es descriu com una distribució de Linux per a dispositius encastats.

En lloc de crear un firmware per a cada dispositiu, OpenWrt ofereix un sistema de fitxers totalment modificable i personalitzable. Això l'allibera de la configuració proporcionada pel proveïdor i li permet personalitzar el dispositiu mitjançant l'ús de paquets per a adaptar-se a qualsevol aplicació. Per al desenvolupador, OpenWrt és el marc per a construir una aplicació sense haver de construir un firmware complet al voltant d'aquesta, per als usuaris això significa la capacitat de personalització completa.

En tots els dispositius amb OpenWRT s'utilitzarà la versió 8.09.2.

### 4.2.2. Iperf

Iperf és un programa utilitzat en anàlisis de xarxa que permet crear tràfic TCP i UDP per mesurar l'ample de banda d'una xarxa. A més a més quan es realitza tràfic UDP també ens dona informació sobre el jitter i el percentatge d'errors.

Aquest programa funciona amb el sistema client-servidor. Així per realitzar la prova d'un enllaç haurem d'obrir un client en una banda, per generar tràfic, i un servidor en l'altra per rebre les dades.

Els errors de capa mac no apareixen al camp %error ja que és aquesta capa la encarregada de retransmetre i corregir errors, l'únic indicatiu de col·lisions a la capa mac es pot veure en una disminució de l'ample de banda. Iperf només detecta errors de capa de xarxa en amunt.

#### 4.2.2.1. UDP

UDP és un protocol no orientat a connexió, això implica que les comunicacions UDP siguin unidireccionals, ja que el receptor no ha d'enviar cap tipus de confirmació ni resposta. Això fa que tot i ser un protocol de la capa de xarxa, reflexa molt fidelment el comportament de la capa d'enllaç. El cas de l'Iperf el client enviarà tots els paquets l'un rere l'altre i un cop acabada la transmissió, el servidor enviarà un report al client amb els resultats obtinguts.

Les comandes utilitzades són:

```
Servidor: iperf -s -u -i 5  
Client:   iperf -c 192.168.1.11 -u -i 5 -b 54M -t 60
```

Breu descripció de les comandes utilitzades:

- s: posa l'iperf en mode servidor.
- c: posa l'iperf en mode client, connectant a la adreça IP indicada.
- u: realitza la connexió utilitzant el protocol UDP

- i: temps cada quan retornarà un informe.
- t: temps total durant el que es realitzarà la transferència de dades.
- b: ample de banda ofert (requereix UDP), per defecte 1Mbps.

Aquestes dues comandes crearan un informe que serà similar a:

```
[ ID]   Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter      Lost/Total Datagrams
[1928]  0.0- 5.0 sec   9.51 MBytes    15.9 Mbits/sec  1.508 ms    756/ 7537   (10%)
```

On el jitter és la diferència entre el temps en que s'espera rebre un paquet i el temps en que arriba, aquesta diferència és gran per a velocitats baixes ja que la grandària del paquet en temps és més gran, fent-lo més vulnerable a interferències. Fent que sigui més probable que s'hagi de retransmetre el paquet i augmenti així el jitter.

#### 4.2.2.2. TCP

TCP és un protocol orientat a connexió, això implica que la comunicació serà bidireccional, el receptor respon amb un ACK tots els paquets que rep. En els cas de l'iperf el client rep els ACK de cada paquet enviat i amb això, cada part (client i servidor) fa el seu propi càlcul de l'ample de banda, així que pot ser lleugerament diferent.

Les comandes utilitzades són:

```
Servidor: iperf -s -i 5
Client:    iperf -c 192.168.1.11 -i 5 -t 60
```

Les comandes estan especificades en la secció UDP; la principal diferència respecte UDP, és que amb TCP no s'ha d'indicar l'ample de banda al que volem transmetre, ja es negocia el màxim ample de banda al que es pot anar.

El resultat d'aquestes dues comandes serà un informe amb el total transferit i la velocitat de transferència

```
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0-60.1 sec 52.5 MBytes    7.33 Mbits/sec
```

#### 4.2.3. Top

Top és una comanda que permet fer un diagnòstic de les tasques que realitza un sistema, i ens informa del percentatge d'ocupació de la CPU, entre altres.

La següent és la comanda utilitzada per aconseguir informació de la CPU de les foneres, aquesta ens permet obtenir l'informació d'ocupació de la CPU cada segon:

```
Top -d 1 | grep idle
```

- d: temps cada quan actualitza la informació

- | grep: mostra només les línies que contenen la combinació idle (percentatge de temps lliure de la CPU)

#### 4.2.4. Wireshark

Es tracta d'un analitzador de protocols, que conjuntament amb un a targeta en mode monitor, ens permet capturar tots els paquets que s'estan enviant en el medi, així podem observar les interaccions dels diferents dispositius i que contenen els paquets, a més de quan s'han enviat.

### 4.3. Mode infraestructura

En aquest apartat compararem els resultats teòrics de l'apartat [3.4 - Càlcul teòric de la velocitat màxima] amb els valors reals per tal de contrastar els valors.

#### 4.3.1. Muntatge

Per realitzar les proves d'infraestructura utilitzarem un pc (3) connectat a través de la interfície ethernet a l'Alix (2) i aquesta enllaçada per wifi amb el netbook (1). Ja que la xarxa wifi i la xarxa d'ethernet pertanyeran a diferents xarxes, es definirà l'Alix (2) com a punt d'accés dels ordinadors, per tal que aquests es puguin comunicar entre si. S'ha connectat l'Alix a un ordinador per assegurar-nos que la carrega de CPU que generaran els programes utilitzats no sature la CPU d'aquesta, i perquè el software iperf compilat per openwrt no funciona correctament en mode udp-servidor.

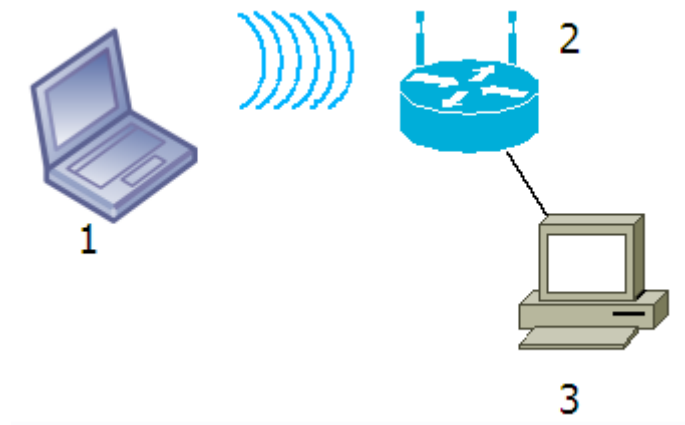


Fig. 4.3-1

Per a les proves en el mode g la prova consistirà en obrir un servidor d'iperf en la màquina 3 i un client iperf que s'hi connecti en la màquina 1, així podrem determinar els amplex de banda màxims en cada cas.

A les proves en mode b es va detectar que el netbook (1) sempre fragmentava els paquets en les modulacions més baixes, 5,5, 2 i 1 Mbps; distorsionant els resultats de les proves, per aquesta raó es va canviar el sentit de les dades i es va posar el servidor d'iperf en el netbook (1) i el client en el pc (3). El problema d'aquest sistema, és que com que la interfície ethernet pot

acceptar un gran ample de banda, en udp el client envia més del que pot reenviar l'Alix i es perden molts paquets per overflow, però igualment les dades relatives al ample de banda si que son vàlides.

### 4.3.2. Entorn sense interferències

#### 4.3.2.1. Mode b

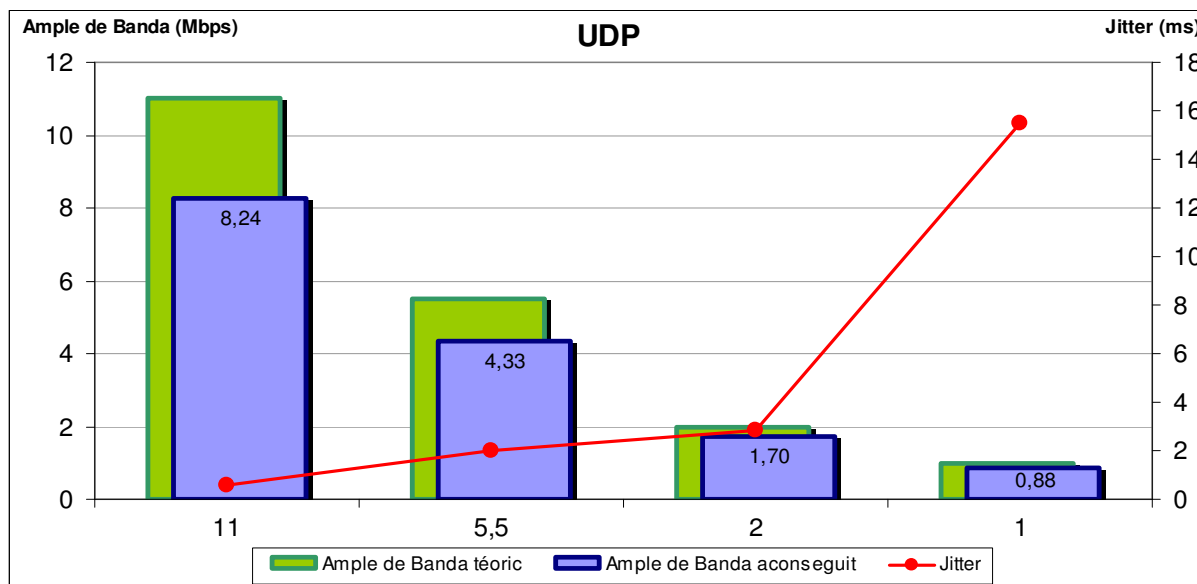
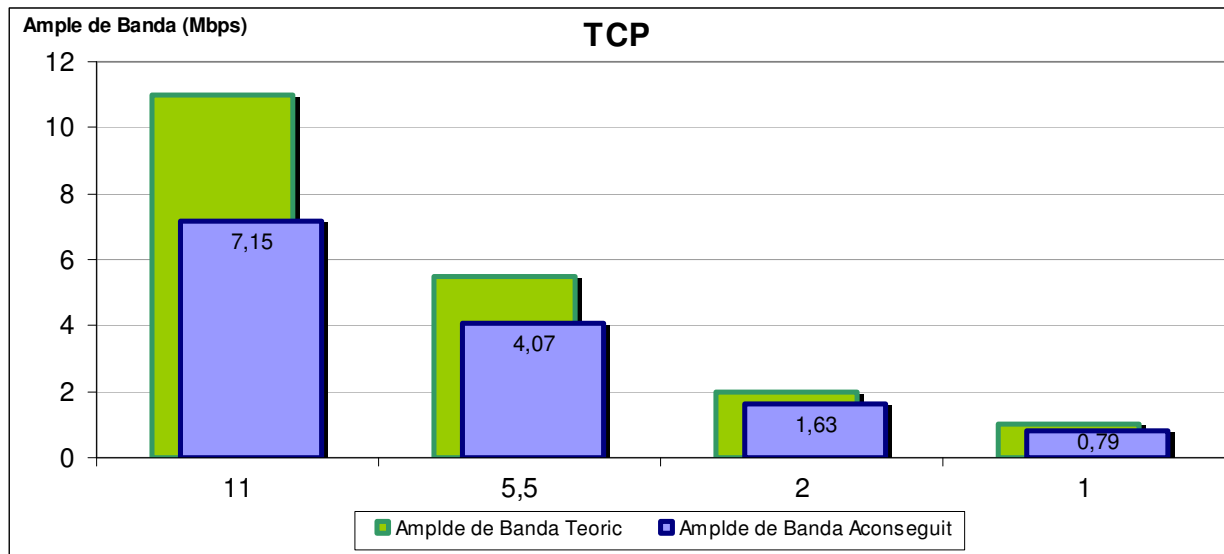


Fig. 4.3-2

% Utilitzat	
11	75%
5,5	79%
2	85%
1	89%

Com es pot veure a la figura [Fig. 4.3-2] no s'arriba a aconseguir el màxim del canal en cap dels casos anteriors i anem des de un 89% d'aprofitament del canal en el millor dels casos en mode de 1 Mbps fins a un 75% en 11 Mbps.

En la majoria dels casos quan hi hagi una transferència de dades entre 2 dispositius, aquesta serà en TCP així doncs la prova de control anterior no ens reflexarà la velocitat màxima d'una transferència normal, per això una prova que cal fer, per saber com reaccionarà en el millor dels casos un enllaç és fer una transferència en TCP, on la gran diferència recau en que després d'enviar cada trama el receptor respon amb un ACK a nivell de xarxa, així doncs és d'esperar que es redueixi la velocitat de transmissió.



**Fig. 4.3-3**

% Utilitzat	
11	65%
5,5	74%
2	82%
1	79%

Com és d'esperar la velocitat es redueix aproximadament un 10% en la velocitat de transferència efectiva en el pitjor dels casos degut a que hi ha tràfic en els dos sentits.

#### **4.3.2.2. Mode g**

El mateix mètode utilitzat per mesurar l'aprofitament del canal en b es pot extrapol·lar a les modulacions de g.



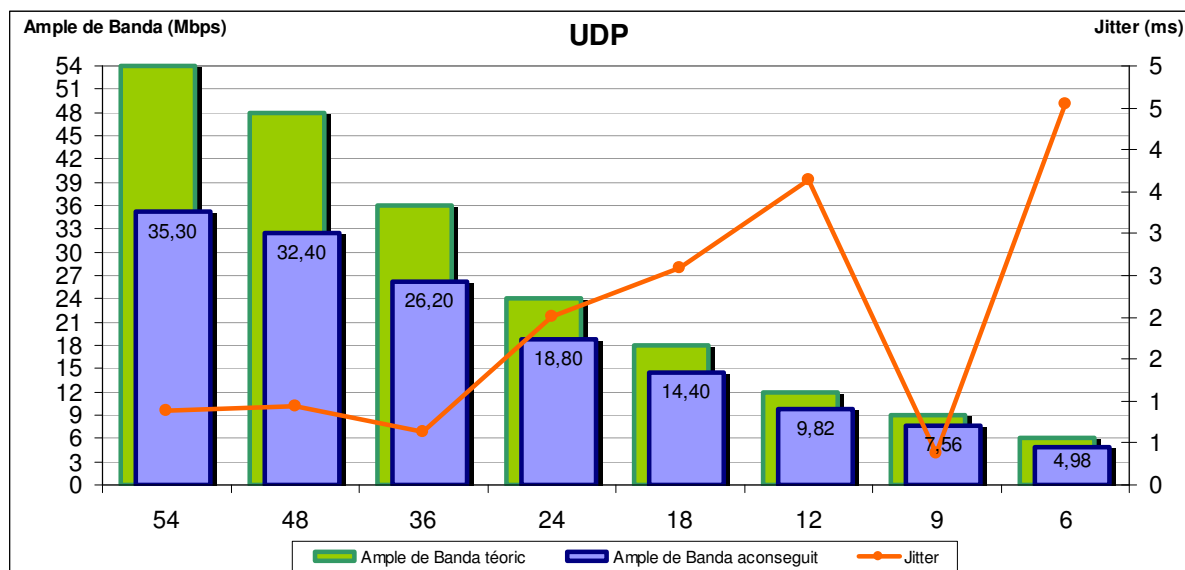


Fig. 4.3-4

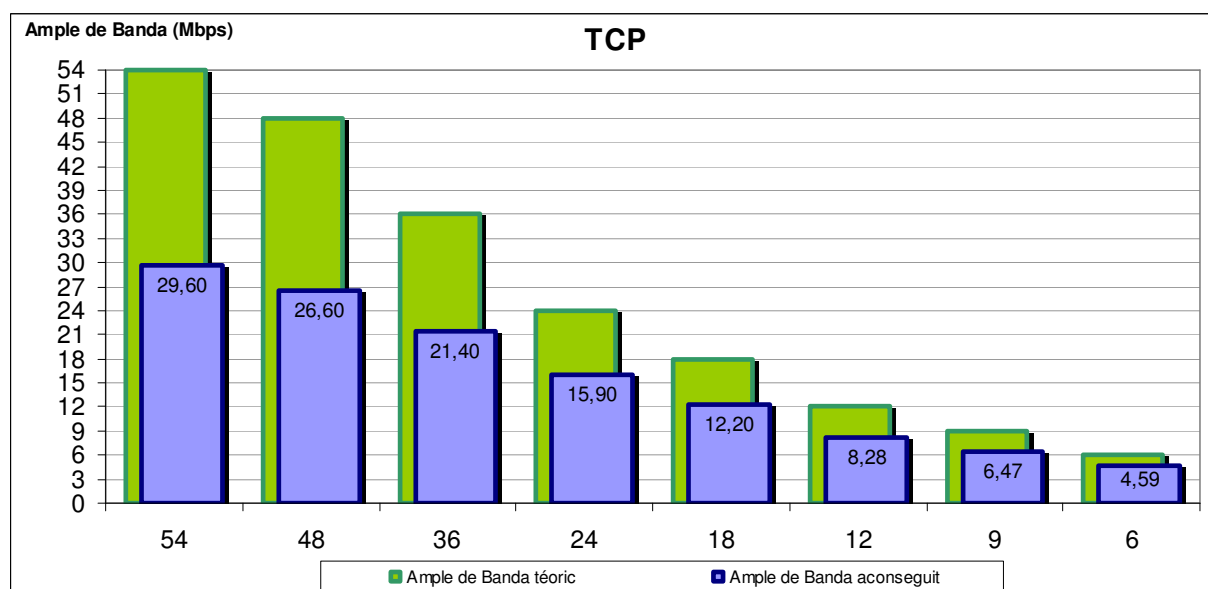


Fig. 4.3-5

% Utilizat UDP	
54	65%
48	68%
36	73%
24	78%
18	80%
12	82%
9	84%
6	83%

% Utilizat TCP	
54	55%
48	55%
36	59%
24	66%
18	68%
12	69%
9	72%
6	77%

Els resultats en UDP són similars a b; no s'arriba en cap dels casos al màxim suposat de la modulació utilitzada i anem des de un 65% d'aprofitament del

canal en modulació 54 Mbps a un 83% en 6 Mbps. I en TCP tampoc són gaire millors, aproximadament resulta una pèrdua d'eficiència del 10% respecte UDP.

### 4.3.3. Entorn urbà

Les proves anteriors estan realitzades en un entorn on no hi ha cap altre transmissió wifi, i per tant els dispositius sempre tenen el canal disponible. Les següents proves estan realitzades en un entorn amb wifis interferents, i per tant el canal no sempre estarà disponible.

#### 4.3.3.1. Mode b

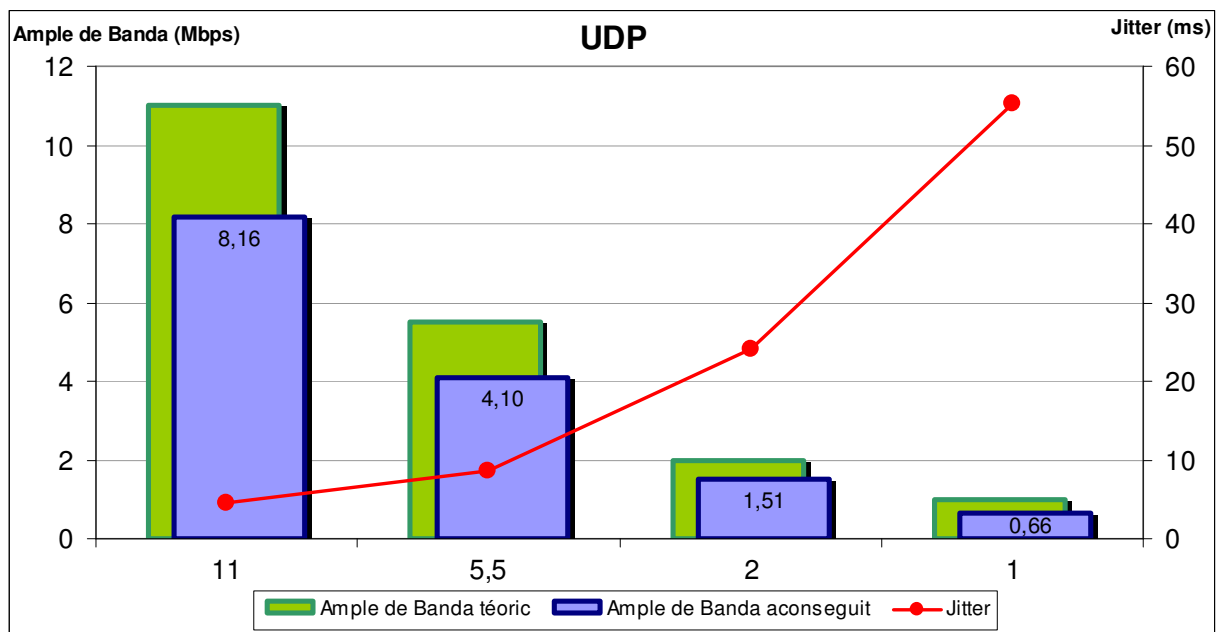


Fig. 4.3-6

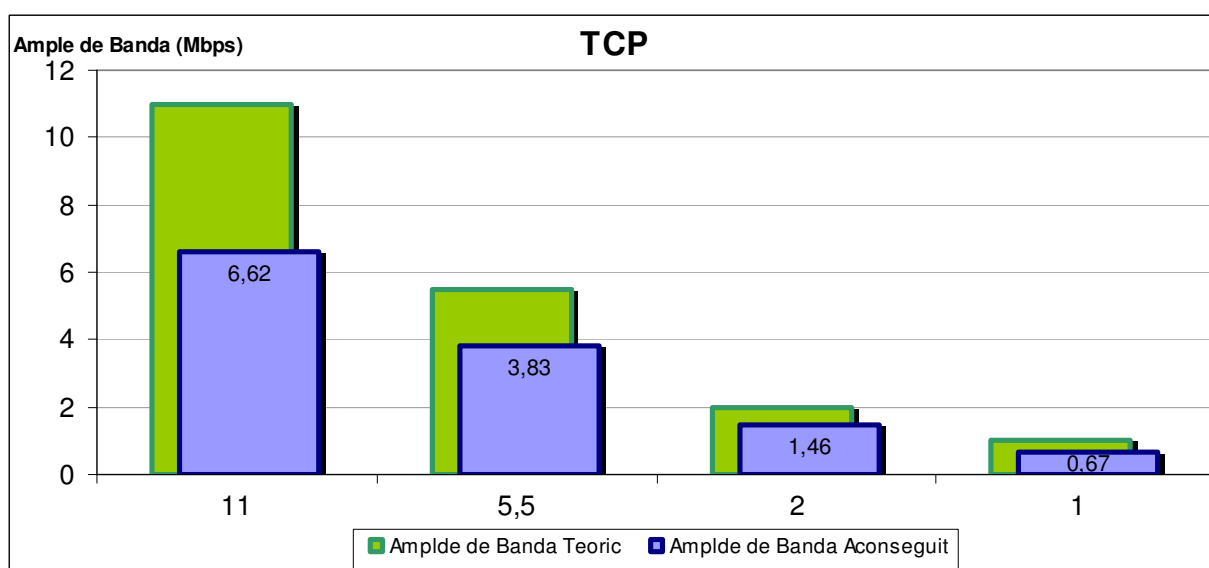


Fig. 4.3-7

% Utilitzat UDP	
11	74%
5,5	75%
2	76%
1	66%

% Utilitzat TCP	
11	60%
5,5	70%
2	73%
1	67%

#### 4.3.3.2. Mode g

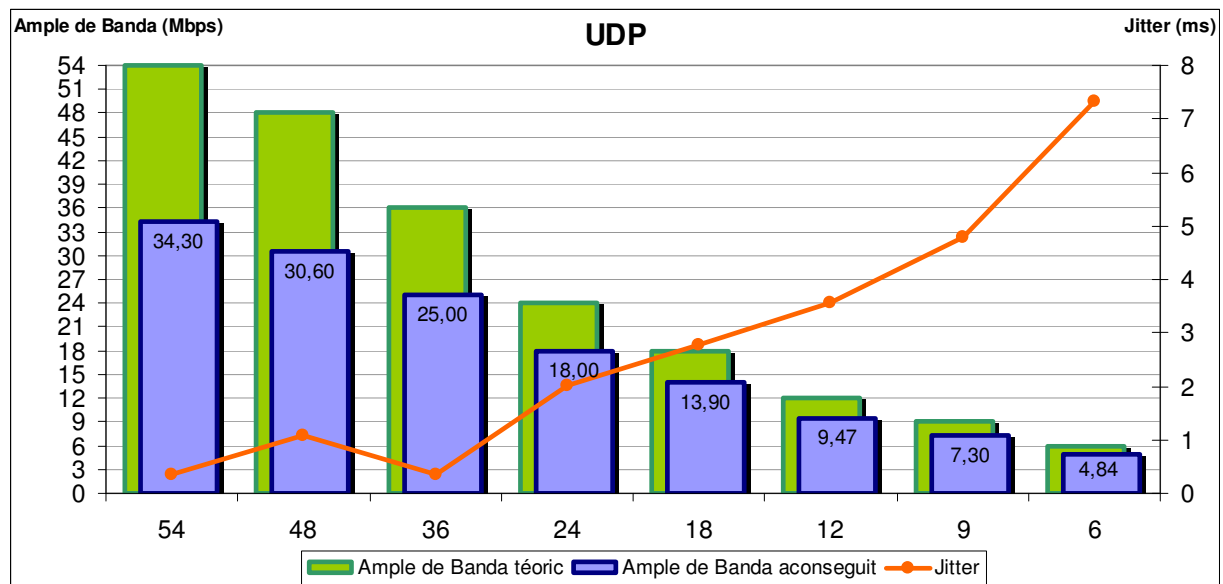


Fig. 4.3-8

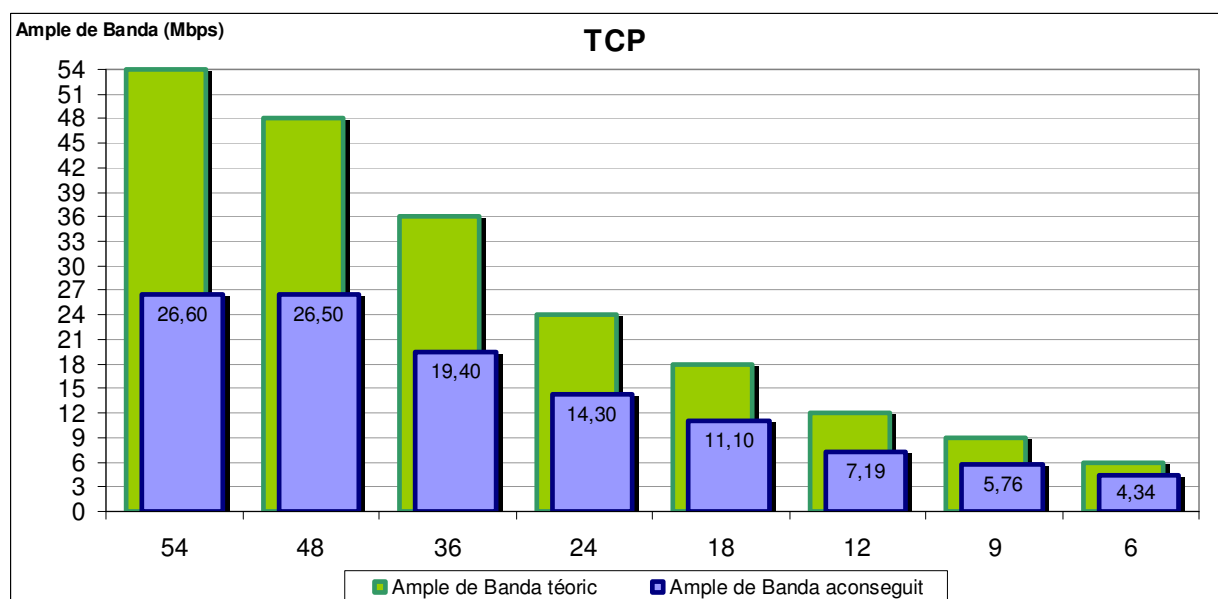


Fig. 4.3-9

% Utilitzat UDP	
54	64%
48	64%
36	69%
24	75%
18	77%
12	79%
9	81%
6	81%

% Utilitzat TCP	
54	49%
48	55%
36	54%
24	60%
18	62%
12	60%
9	64%
6	72%

#### 4.3.4. Conclusions

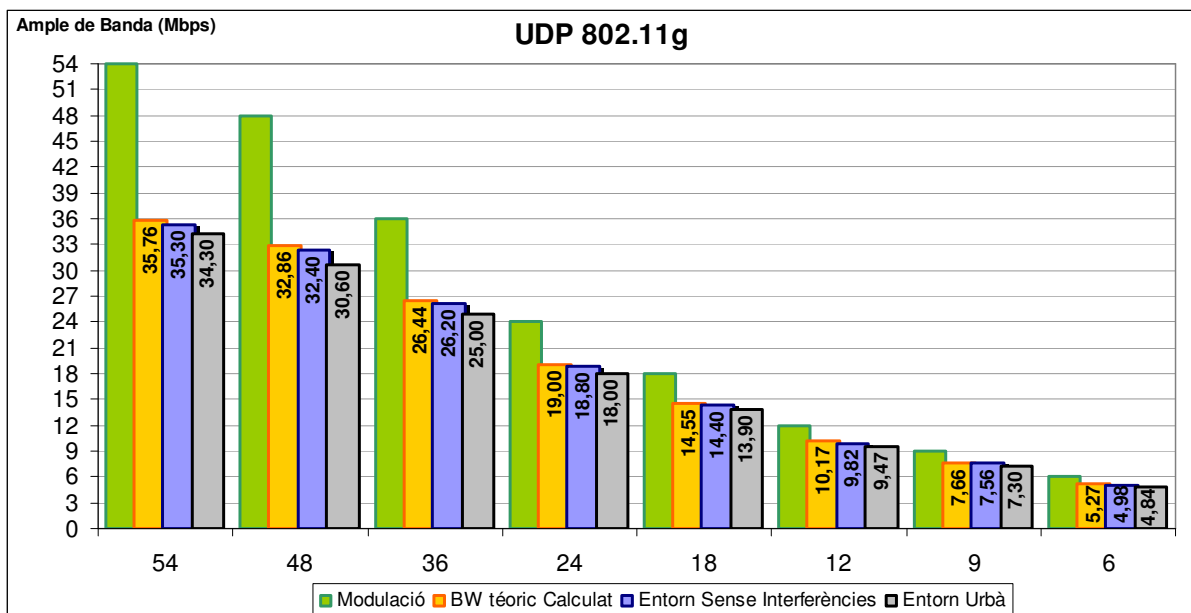


Fig. 4.3-10

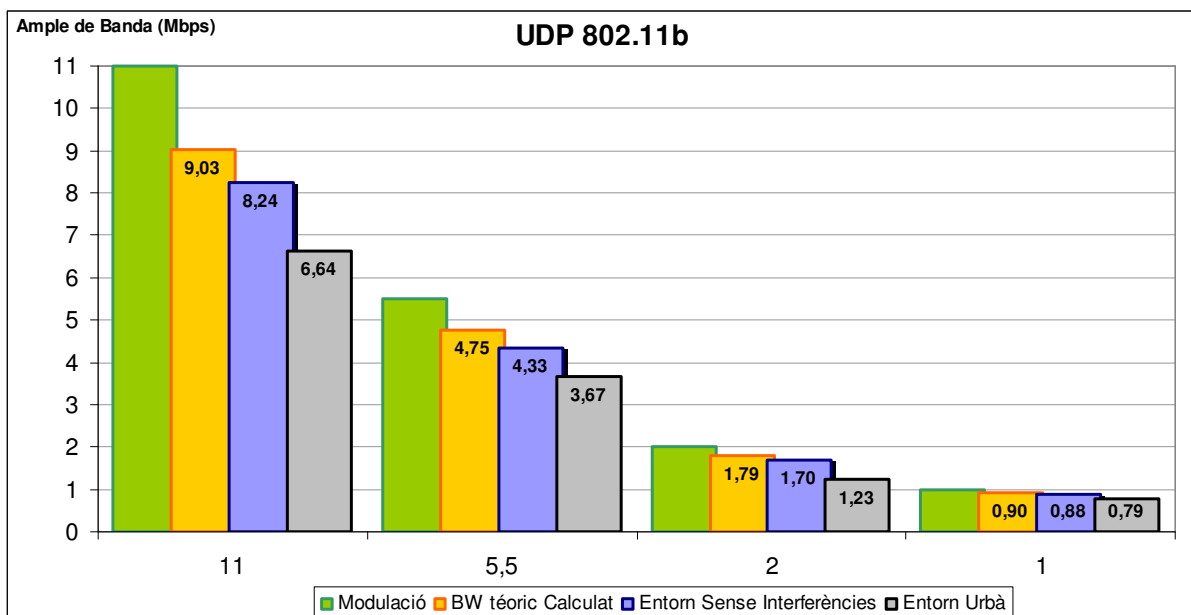


Fig. 4.3-11

Rate [Mbps]	% d'errors en entorn sense interferències	% d'errors en entorn urbà
54	0,015%	0,0063%
48	0%	0,0019%
36	0%	0%
24	0%	0%
18	0%	0%
12	0%	0%
9	0%	0%
6	0%	0%

En les gràfiques i en la taula podem observar que quan hi ha altres wifis l'ample de banda disminueix lleugerament (300k aprox.), la quantitat que baixi depèn del tràfic que hi hagi en les altres wifis. Com més tràfic estiguin generant les altres wifis menys disponible estarà el canal i per tant enviarem una menor quantitat de paquets. També podem veure que pràcticament no hi ha errors en l'entorn urbà, ja que el mateix accés al medi evita la majoria d'errors, i a més els errors de capa MAC no surten reflexats a l'iperf, ja que la pròpia capa MAC es l'encarregada de retransmetre els paquets.

A més comprovem com els càlculs d'ample de banda que havíem realitzat a l'apartat 3.4 - Càlcul teòric de la velocitat màxima, s'acosten força als valors reals trobats.

## 4.4. Mode Ad-Hoc

### 4.4.1. Muntatge

En el primer muntatge tenim dos foneres connectades amb mode ad-hoc entre elles i cadascuna d'elles connectada a un PC perquè si executéssim l'iperf dins de les pròpies foneres encara tindríem més carga a la CPU i l'iperf no funciona correctament amb UDP amb el sistema OpenWRT. Per tal de que tots els nodes es puguin comunicar-se entre ells, tot i estar a xarxes separades, la porta d'enllaç del PC 1 serà la fonera 2, la de la fonera 2 serà la 3 i viceversa, i el PC 4 tindrà com a ruta per defecte la direcció IP de l'interfície ethernet de la fonera 3.

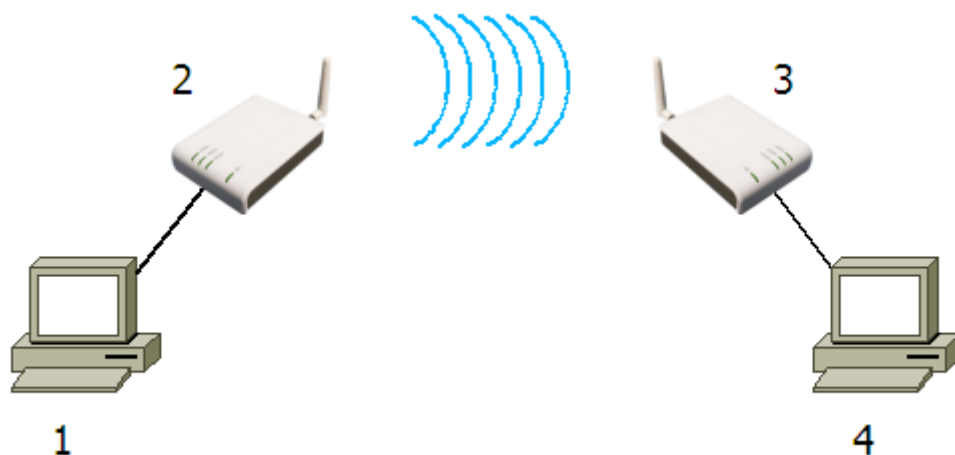


Fig. 4.4-1

#### 4.4.2. Ad-hoc entre foneres en un entorn sense interferències

Com es menciona a l'apartat 4.1.2, les foneres tenen una CPU limitada i podem manejar una quantitat limitada de dades i no poden transmetre a una velocitat superior a 24 Mbps, així doncs no es realitzaran les proves corresponents a velocitats de 54Mbps, 48 Mbps i 36 Mbps. També s'ha inclòs en les gràfiques el percentatge de CPU lliure, per tal de monitoritzar si això permetrà a les foneres realitzar altres tasques.

##### 4.4.2.1. Mode b

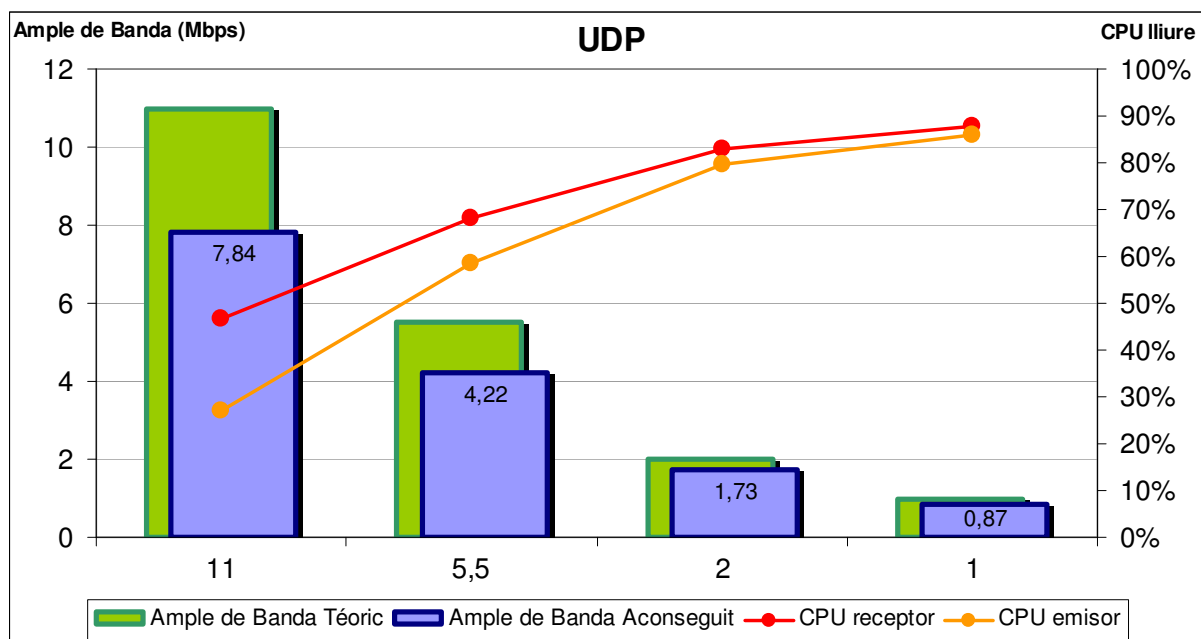
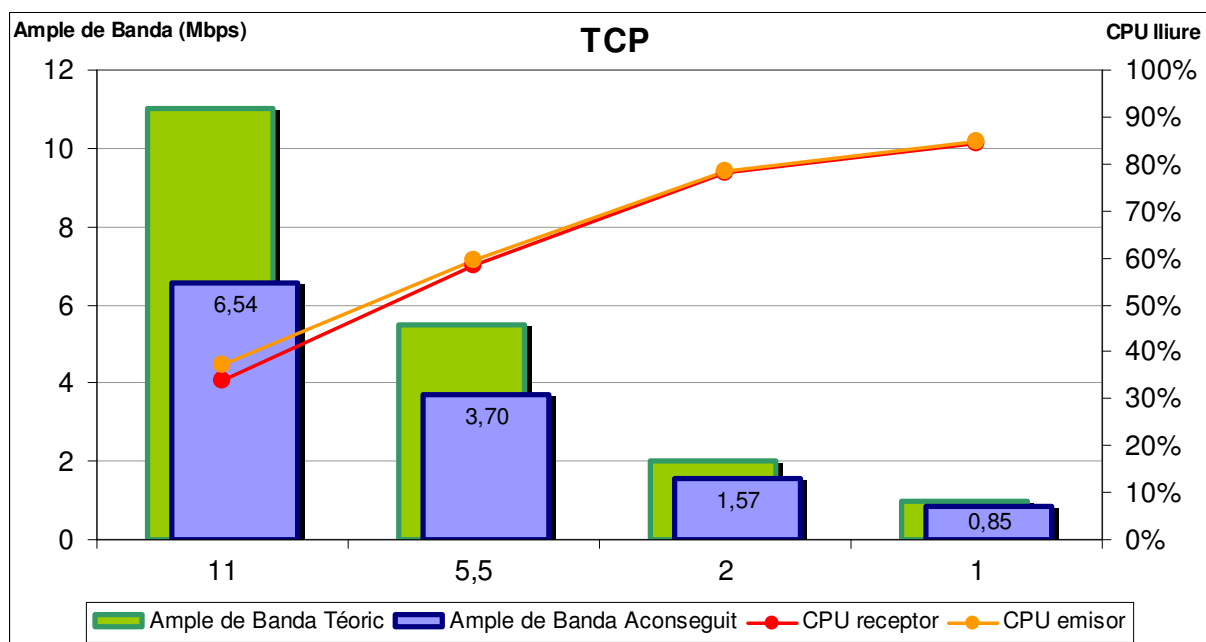


Fig. 4.4-2

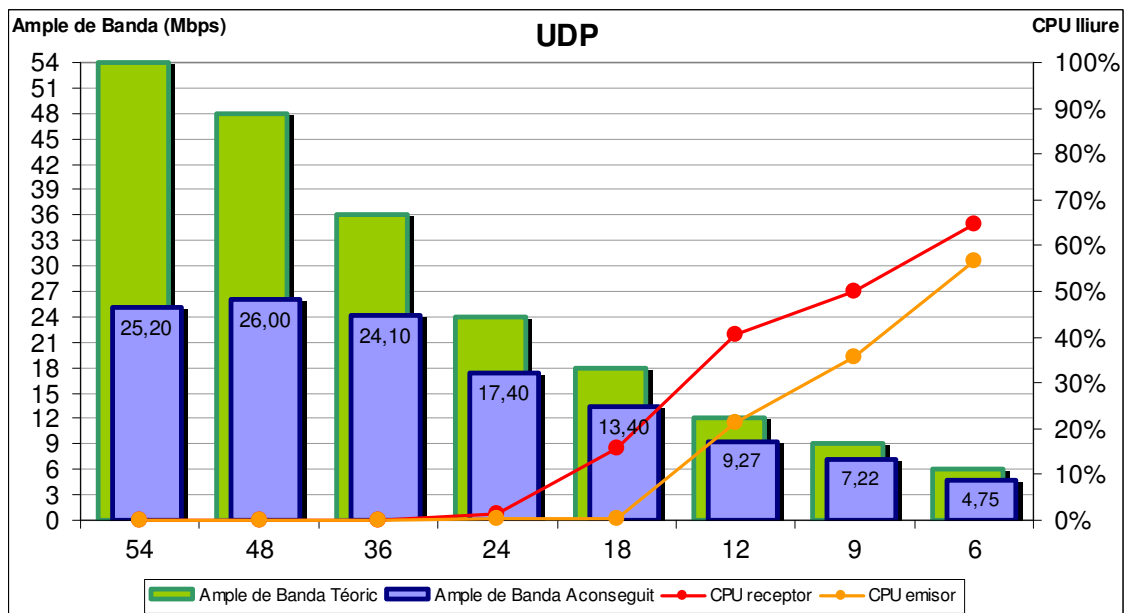


**Fig. 4.4-3**

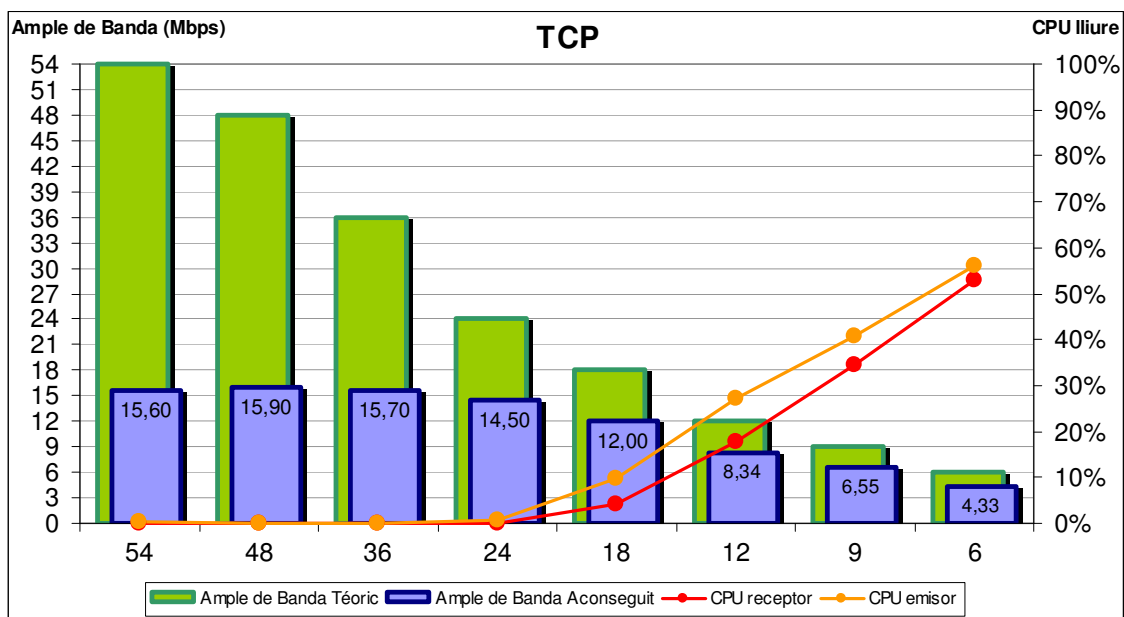
% Utilitzat UDP	
11	71,27%
5,5	76,73%
2	86,50%
1	88,70%

% Utilitzat TCP	
11	59,45%
5,5	67,27%
2	78,50%
1	84,99%

#### 4.4.2.2. Mode g



**Fig. 4.4-4**



**Fig. 4.4-5**

% Utilitzat TCP	
24	60,42%
18	66,67%
12	69,50%
9	72,78%
6	72,17%

% Utilitzat UDP	
24	72,50%
18	74,44%
12	77,25%
9	80,22%
6	79,17%



### 4.4.3. Ad-hoc entre foneres en un entorn urbà

#### 4.4.3.1. Mode b

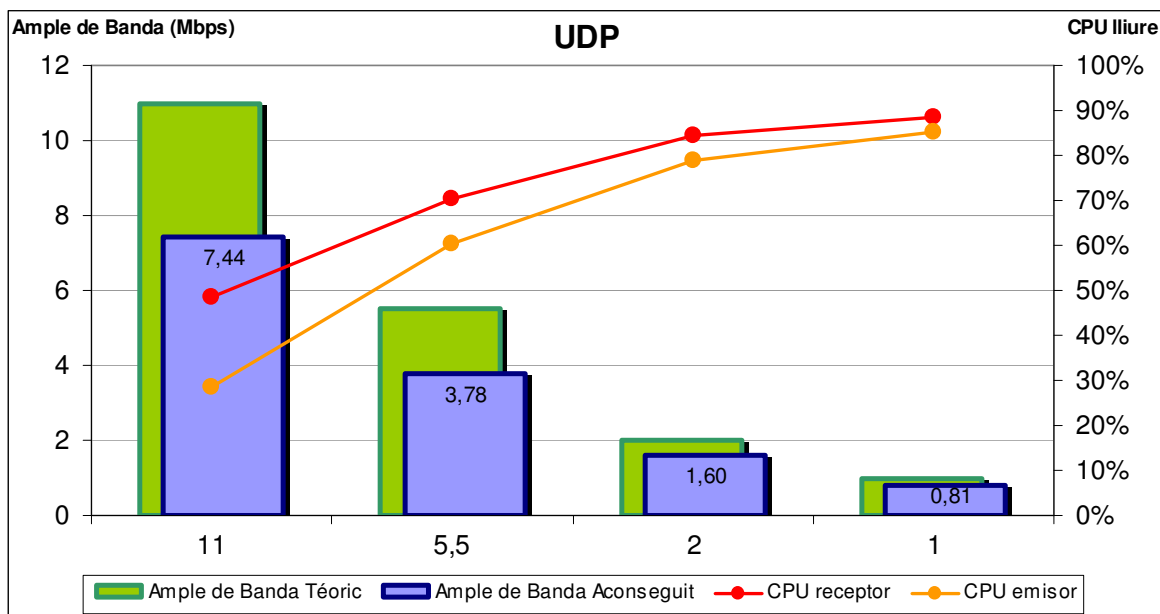


Fig 4.4-1

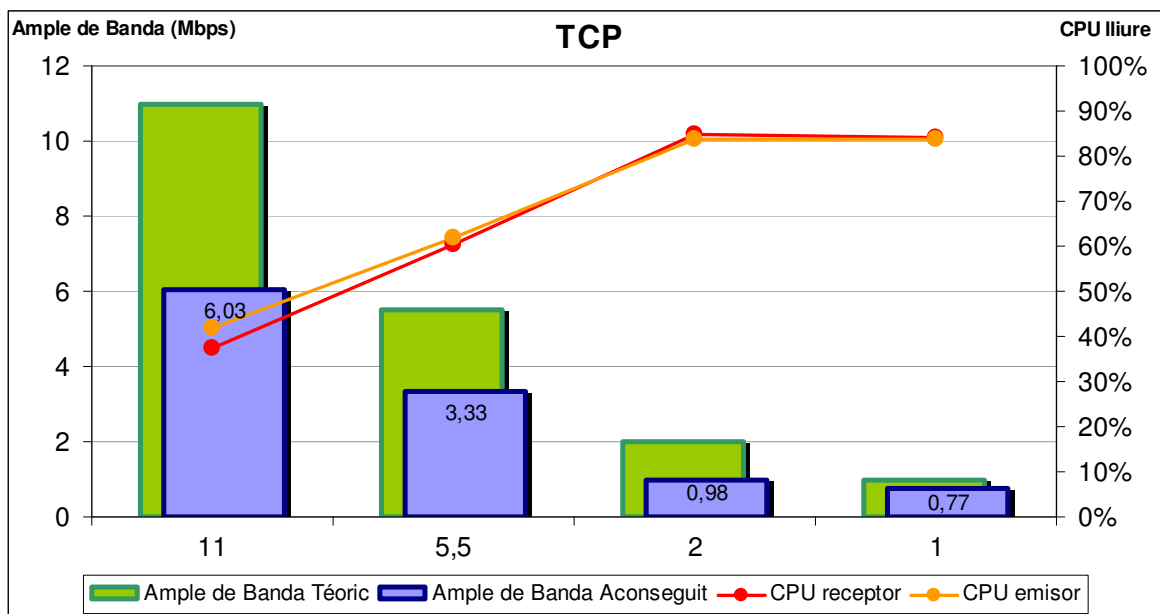


Fig. 4.4-6

% Utilitzat UDP	
11	67,64%
5,5	68,73%
2	80,00%
1	80,90%

% Utilitzat UDP	
11	54,82%
5,5	60,55%
2	49,10%
1	76,80%

#### 4.4.3.2. Mode g

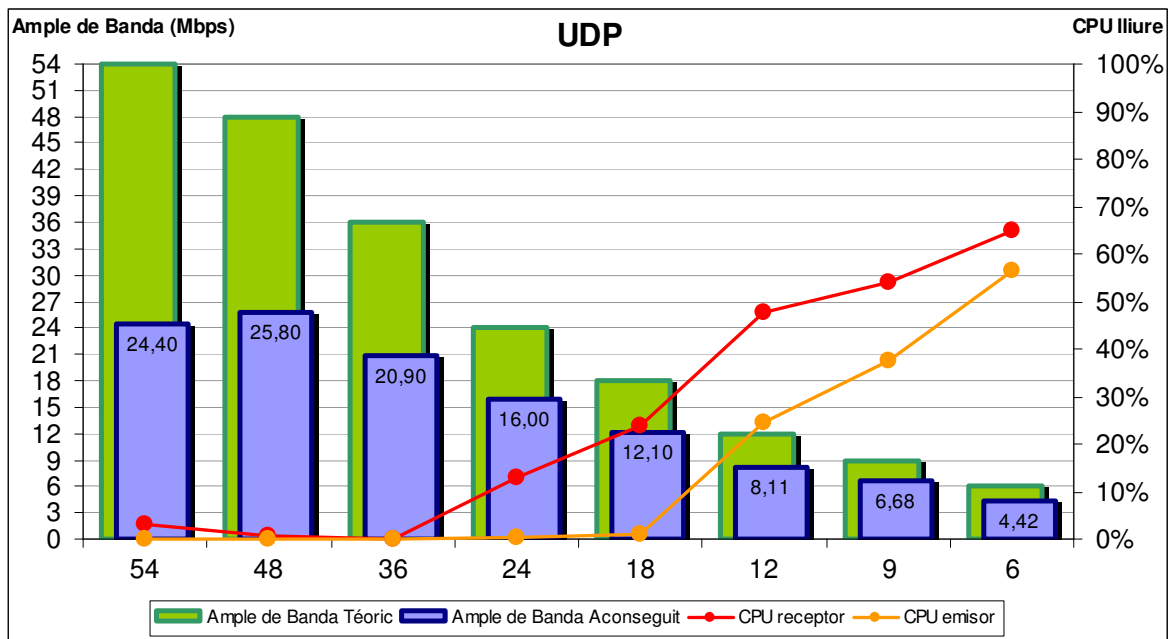


Fig. 4.4-7

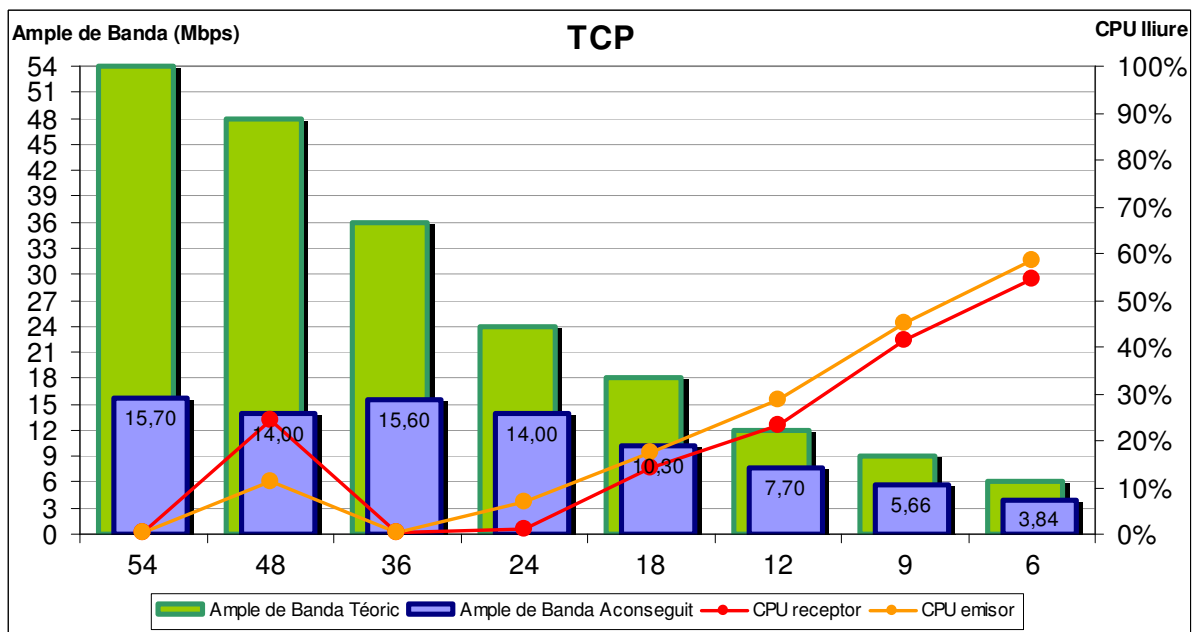


Fig. 4.4-8

% Utilitzat UDP	
54	45,19%
48	53,75%
36	58,06%
24	66,67%
18	67,22%
12	67,58%
9	74,22%
6	73,67%

% Utilitzat TCP	
54	29,07%
48	29,17%
36	43,33%
24	58,33%
18	57,22%
12	64,17%
9	62,89%
6	64,00%

#### 4.4.4. Ad-hoc amb alix

Com es pot veure en els gràfics anteriors, la CPU de les foneres no pot suportar una càrrega superior equivalent a una modulació de 24 Mbps, és per això que totes les proves futures en que intervinguin foneres, la modulació màxima serà 24 Mbps.

Per tal d'obtenir el màxim a que pot arribar ad-hoc es repetirà la prova utilitzant un alix per assegurar que la CPU no es satura i alhora tenim el mateix xipset.

S'utilitzarà un alix (2) connectada a un pc (1) per ethernet i a un pc amb wireless (3) configurat com a ad-hoc. El servidor d'iperf estarà en el pc (3) i el client en el pc connectat per ethernet (1).

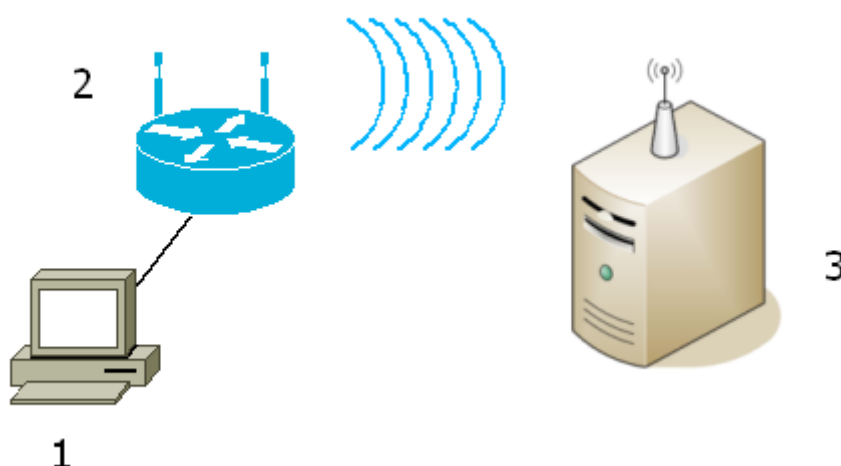


Fig. 4.4-9

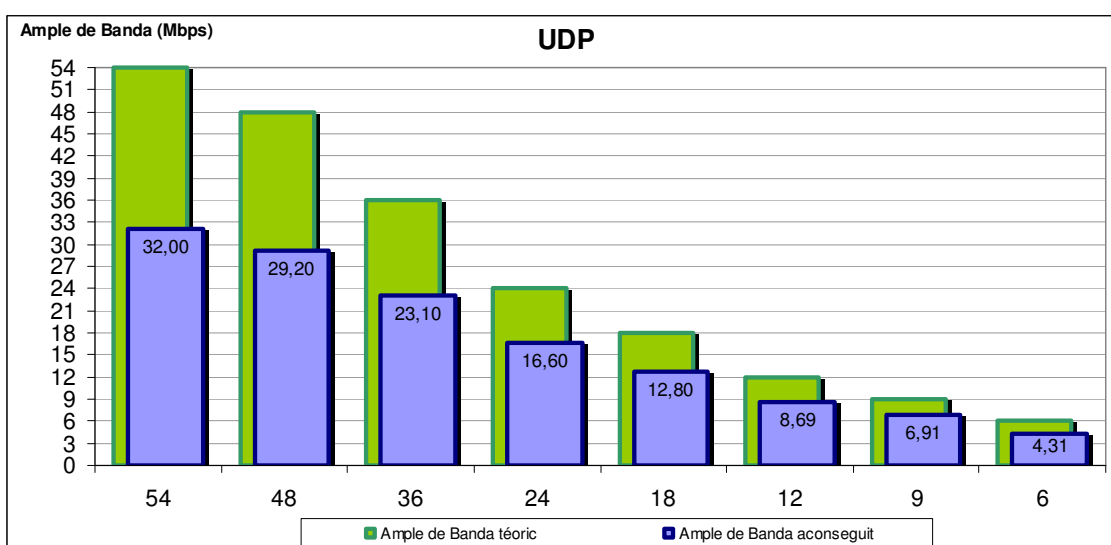


Fig. 4.4-10

## 4.5. Infraestructura amb CTS i RTS

Per defecte tots els dispositius que hem utilitzat porten desactivada la opció d'enviar RTS i CTS, sigui quina sigui la mida del paquet. Per tal de comprovar l'efecte de l'algorisme amb CTS/RTS es realitzaran les mateixes proves activant-lo, això repercutirà en la velocitat màxima ja que els paquets extra ocuparan una part del temps i es reduirà l'ample de banda màxim.

Aquestes proves estan fetes en un entorn lliure d'interferències.

### 4.5.1. Mode g

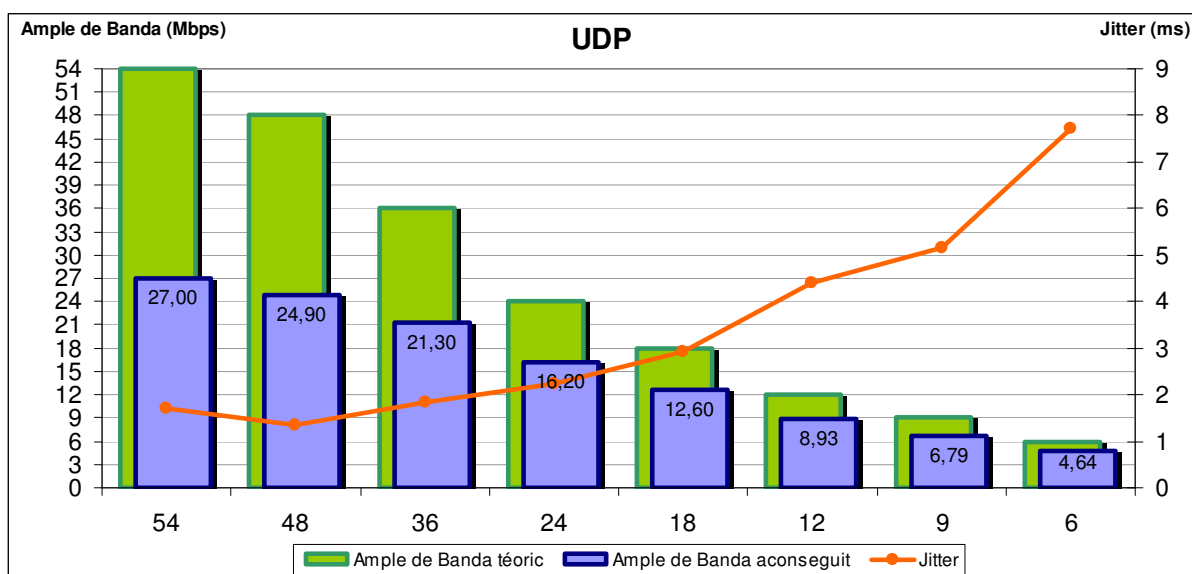


Fig. 4.5-1

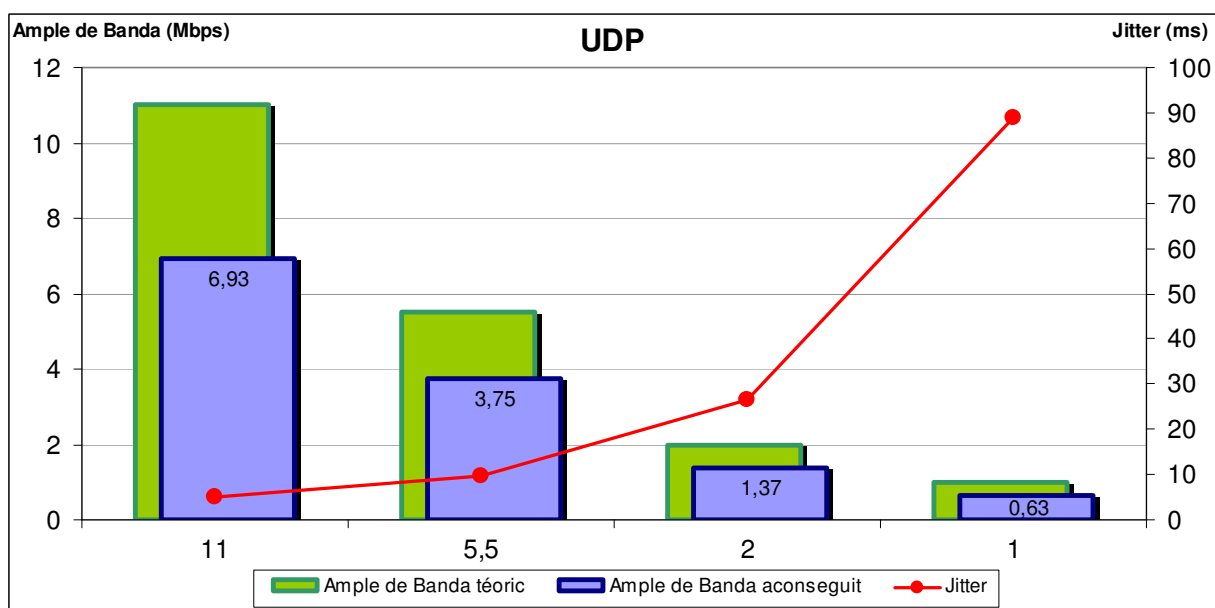


Fig. 4.5-2

### 4.5.2. Conclusions

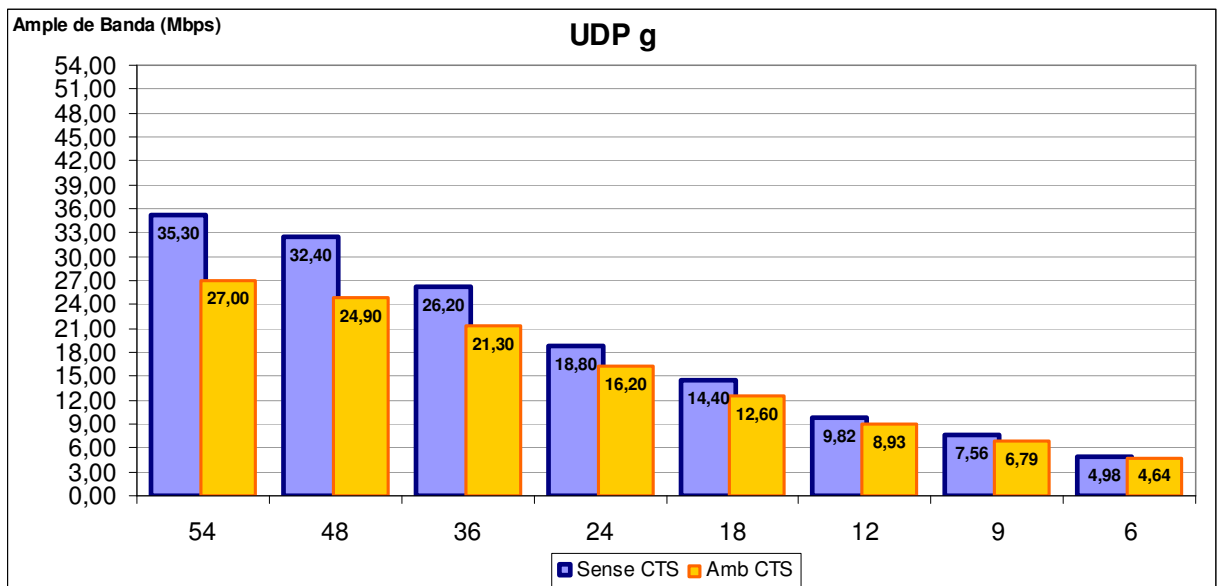


Fig. 4.5-3

Podem veure que es perd un ample de banda considerable per a modulacions altes, a causa de que proporcionalment al temps de dades enviades, el temps que ocupen RTS i CTS es més gran a modulacions més altes.

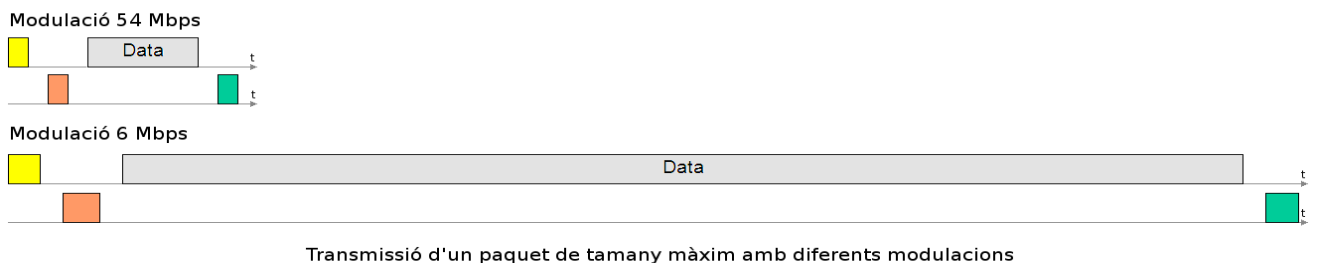


Fig. 4.5-4

En el gràfic superior [Fig. 4.5-4] a escala, s'observa que en la modulació de 54 Mbps, el temps perdut en paquets de control és una gran part del temps utilitzat, mentre que a 6 Mbps, el temps perdut en proporció al temps que ocupa el paquet de dades és insignificant.

## 4.6. Accés al medi amb dispositius iguals

Aquestes proves van destinades a donar una resposta de perquè en alguns nodes guifibages obté tan poca velocitat, recordem que guifibages està formada per nodes en configuració ad-hoc sense RTS/CTS.

El que farem serà intentar transmetre en més d'un enllaç a la vegada, per poder observar com es reparteixen el canal.

#### 4.6.1. **Muntatge**

Per comprovar com funciona l'accés realitzarem les proves on 2 dispositius iguals intenten transmetre en el mateix canal en el mateix moment, i poder observar com es reparteixen el canal.

Per aquest muntatge utilitzarem dos foneres (2,5), les dues estaran en mode infraestructura, i cada una estarà enllaçada per wifi amb un altre ordinador (3,6) i per cable amb un altre (1,4), després obrirem un servidor d'iperf en cada un dels PCs enllaçats per wifi (3,6) i el client d'iperf en els PCs enllaçats per cable (1,4), per tal de que siguin les foneres, que són iguals, les que enviïn.

Les foneres estan programades per enviar a modulació de 18Mbps. S'ha triat aquesta modulació, per tal d'assegurar que aquestes no se'ls hi satura la CPU.

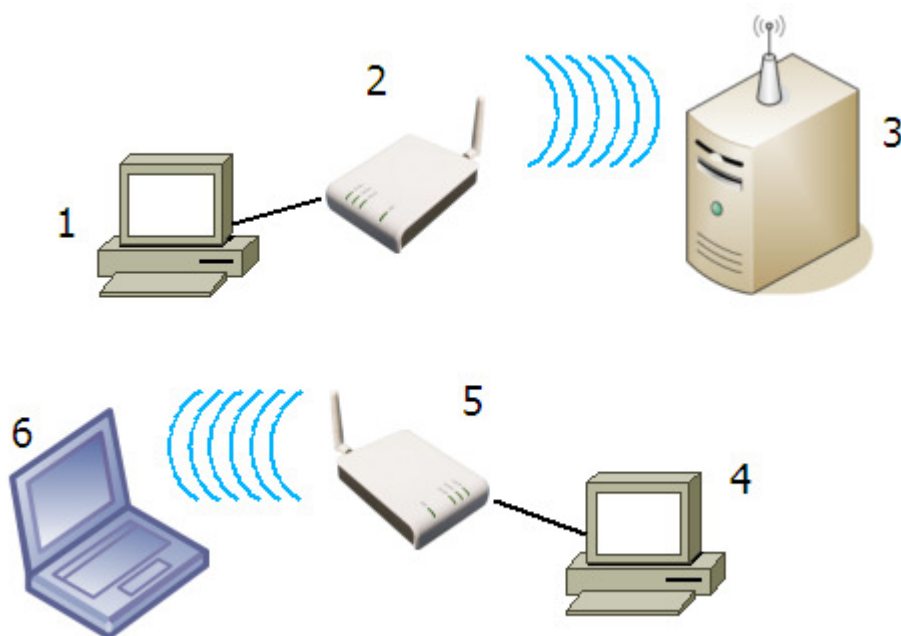


Fig. 4.6-1

#### 4.6.2. Cap amb RTS i CTS

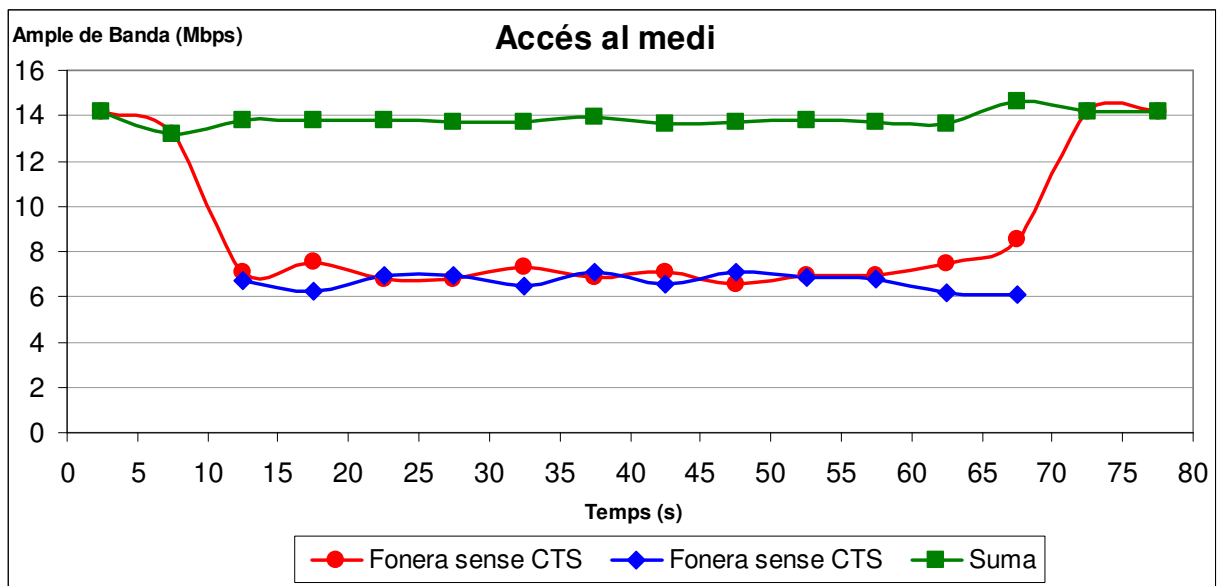


Fig. 4.6-2

La figura [Fig. 4.6-2] descriu el comportament quan la fonera a s'hi acobla una senyal interferent de la fonera b. En el segon 10 la velocitat d'ambdues es redueix a 7 Mbps, de manera que el canal continua acceptant uns 14Mbps de transmissió entre les dues. Aquest valor gairebé es el màxim que teníem amb una de sola.

El repartiment del canal sense utilitzar algorisme RTS/CTS és equitatiu, com és d'esperar si utilitzem 2 dispositius idèntics amb el mateix programari.

#### 4.6.3. Un amb RTS i CTS

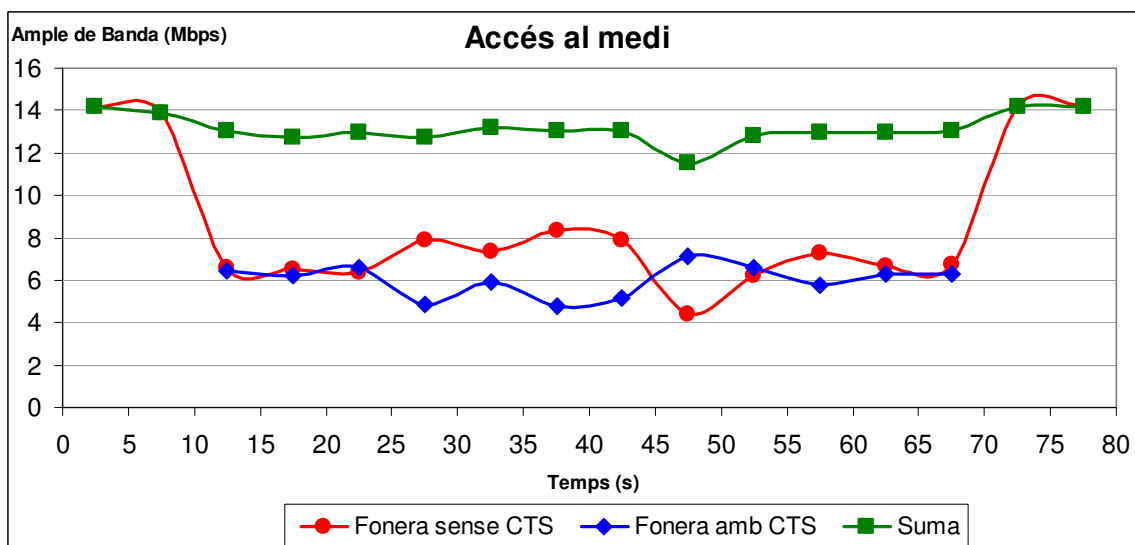


Fig. 4.6-3

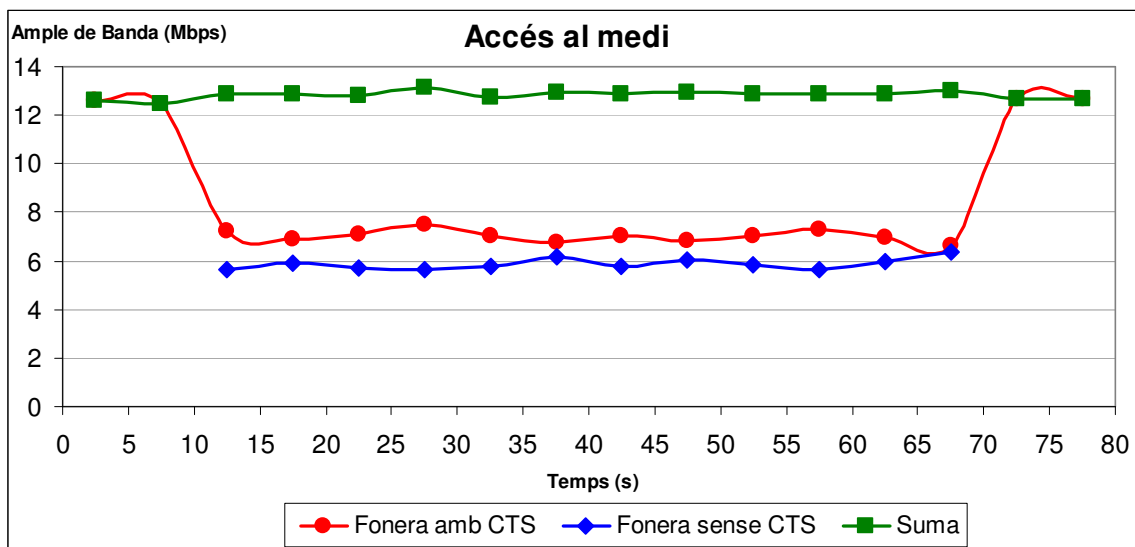


Fig. 4.6-4

Encara que alguna activi l'algorisme RTS/CTS, el canal continua repartint-se equitativament, però com que l'algorisme ocupa temps de transmissió, la que el té activat redueix, com és normal, la velocitat màxima.

#### 4.6.4. Els dos amb RTS i CTS

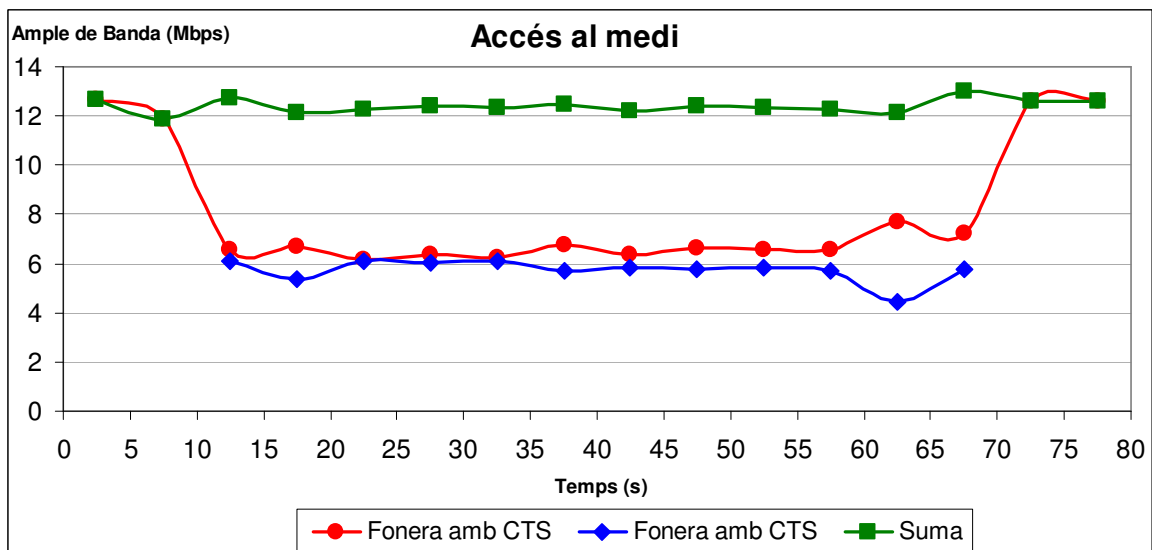


Fig. 4.6-5

Amb els dos enllaços utilitzant RTS/CTS, només es redueix la velocitat màxima, i continua repartint-se el canal equitativament.

En les diferents gràfiques podem observar com, quan per algun motiu, alguna de les foneres ocupa una part més gran del canal en algun moment concret, automàticament l'altre redueix el seu màxim.



## 4.7. Accés al medi Infraestructura contra ad-hoc

En teoria la diferencia entre ad-hoc i infraestructura és nul·la a la capa física però per separat un enllaç configurat en mode infraestructura obté millors resultats que una configuració ad-hoc.

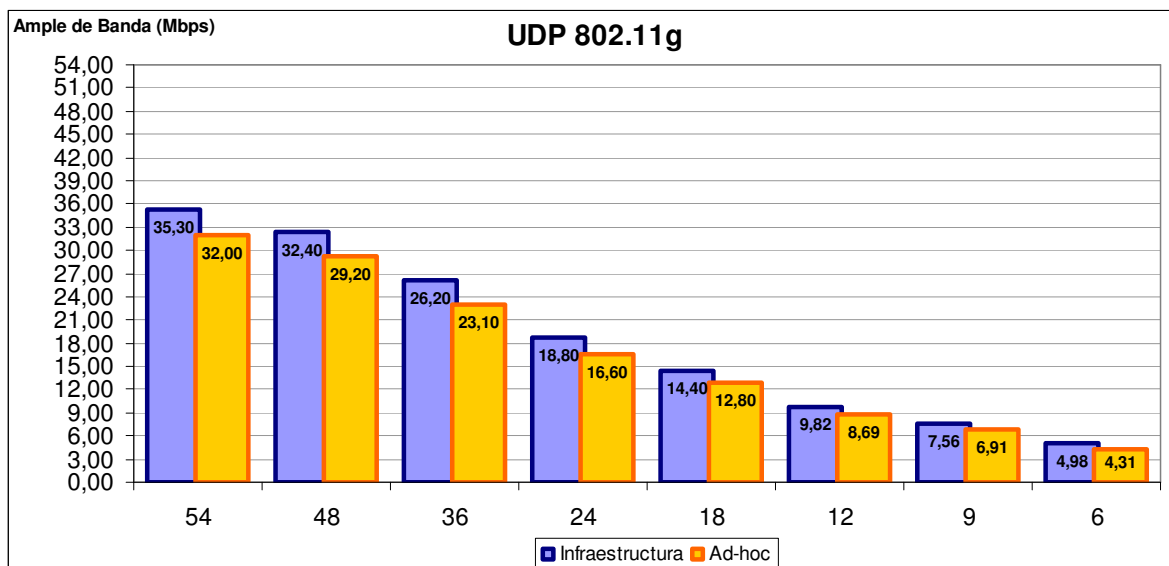


Fig. 4.7-1

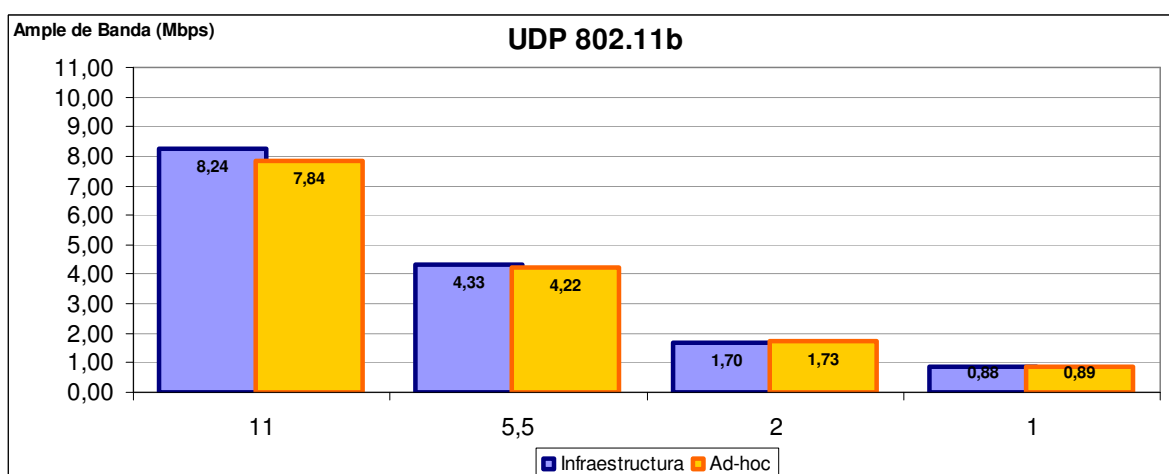


Fig. 4.7-2

Com observem a les gràfiques ad-hoc aconsegueix unes velocitats de transmissió més baixes que infraestructura. Això indica que, possiblement, ad-hoc té algun temps d'espera més gran que infraestructura. Si aquest temps més gran fos en el backoff, podria afectar a l'accés al medi de les xarxes ad-hoc.

### 4.7.1. Muntatge

Per a aquesta prova s'han utilitzat dos dispositius idèntics, foneres (2,5) configurats, un com a ad-hoc i l'altre com a infraestructura, i com a clients dos

portàtils (3,6) amb la mateixa tarja wireless. Els dispositius estan configurats per anar a 18Mbps i a una potència de 5 dBm

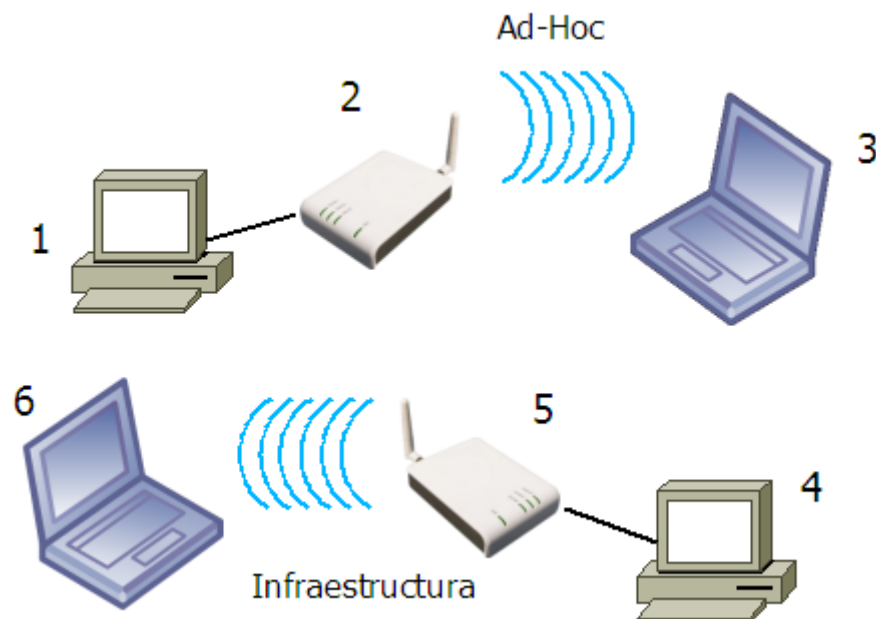


Fig. 4.7-3

#### 4.7.2. Cap xarxa amb CTS/RTS

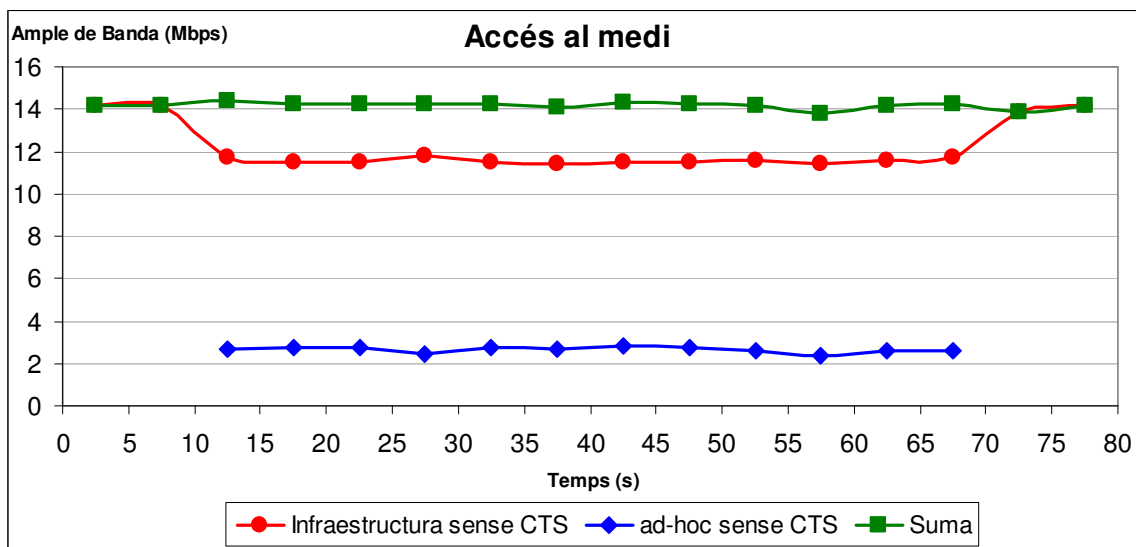


Fig. 4.7-4

#### 4.7.3. Xarxa ad-hoc amb CTS/RTS

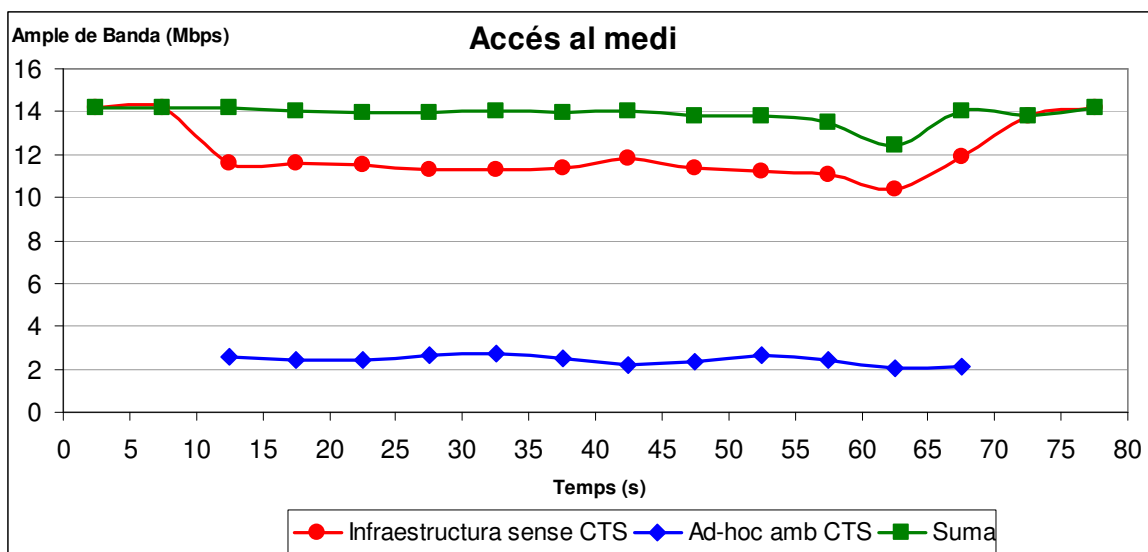


Fig. 4.7-5

#### 4.7.4. Xarxa infraestructura amb CTS/RTS

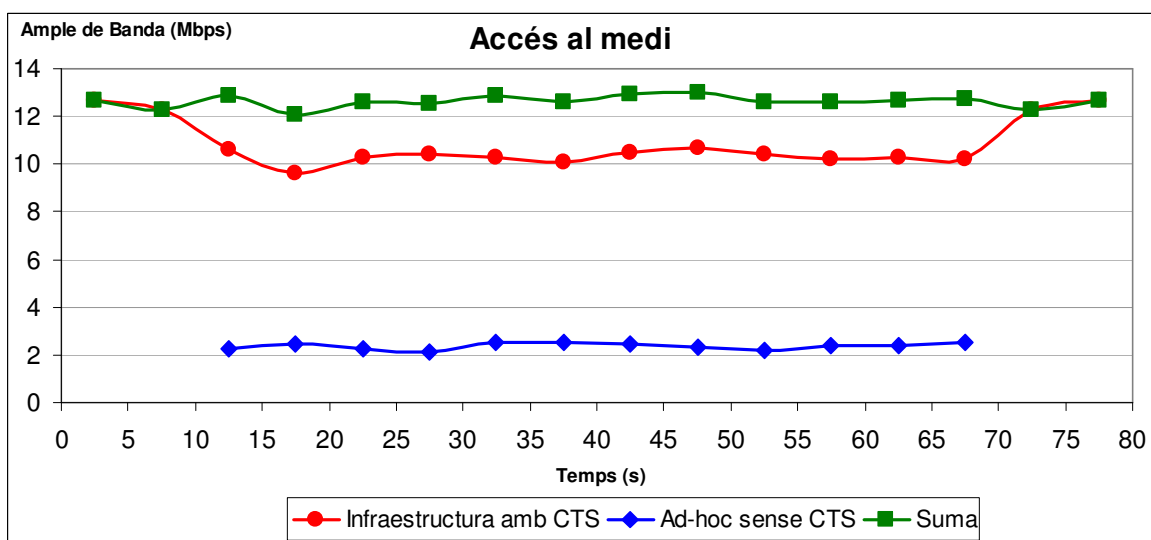


Fig. 4.7-6

#### 4.7.5. Les dos xarxes amb CTS/RTS

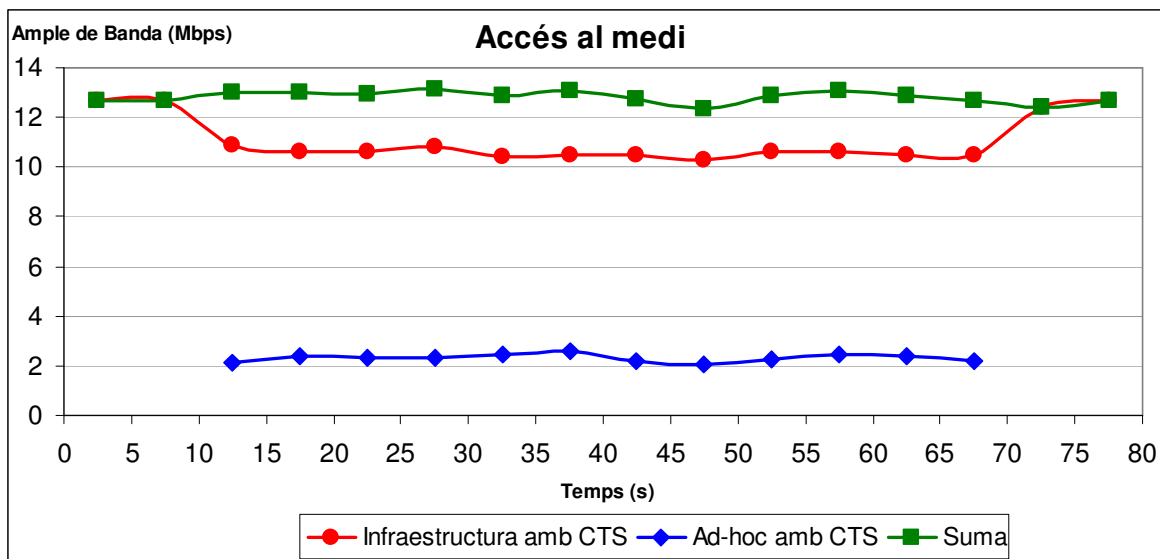


Fig. 4.7-7

#### 4.7.6. Conclusions

Alhora de competir pel canal una xarxa ad-hoc sempre és inferior a una infraestructura, activem el RTS/CTS o no. Tot i que, la suma dels dos amplitud de banda manté el màxim de velocitat de la modulació, infraestructura sempre es queda la major part del canal.

En un medi compartit entre xarxes en mode infraestructura i ad-hoc, podem dir que les primeres es quedaran sempre la major part del canal, deixant a les altres molt poc ample de banda. Ni tan sols utilitzant algorisme amb RTS/CTS s'aconsegueix un repartiment més equitatiu del canal.

Com hem comentat a l'apartat 3.2 - Anunciament al medi, en els beacon s'informa si es permet l'ús del short slot time o no, les xarxes amb infraestructura a 802.11g si que el permeten, però si mirem el beacon de les xarxes ad-hoc veiem que no el permeten, així que utilitzen un  $T_{\text{slot}}$  de 20. Això fa que augmenti el seu temps de backoff i que per tant tingui més dificultat per accedir al medi.

### 4.8. Accés al medi amb dispositius diferents

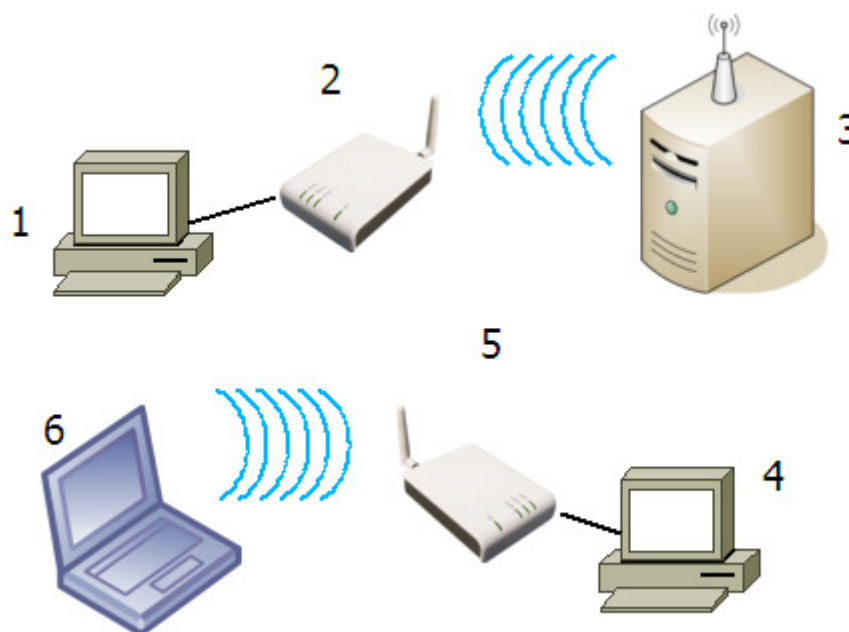
A la pràctica hem acabat comprovant que cada fabricant implementa a la seva manera el que diu l'estàndard. En les següents proves es comprovarà fins a quin punt afecta les comunicacions aquest fet.

Es farà una lluita pel canal fent servir totes les combinacions dels 3 dispositius disponibles.

#### 4.8.1. **Broadcom vs Conceptronic**

##### 4.8.1.1. **Muntatge**

En aquesta prova utilitzarem les foneres (2,5) com a receptors, configurades com a AP i els clients de dues xarxes diferents, seran una broadcom (6) i una conceptronic (3). La velocitat de transmissió estarà fixada a 24Mbps i la potència de tots els dispositius a 5 dBm.



**Fig. 4.8-1**

Tindrem un servidor iperf en els pcs (1,4) i un client en dispositiu amb conceptronic (3) i al netbook amb broadcom (6).

Així doncs farem un test de repartiment del medi de conceptronic amb broadcom.

#### 4.8.1.2. Cap dispositiu amb CTS/RTS

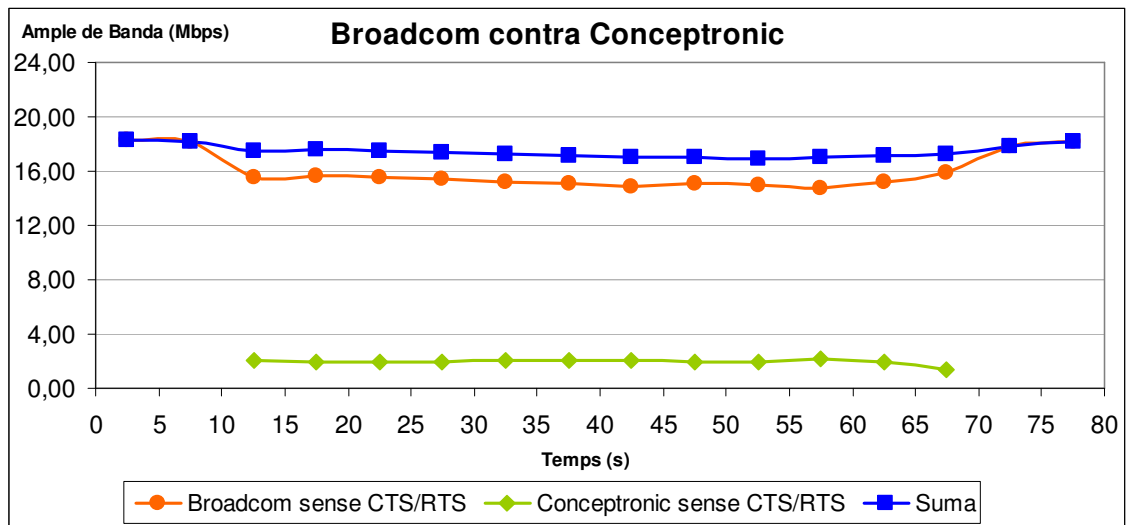


Fig. 4.8-2

#### 4.8.1.3. Broadcom amb CTS/RTS

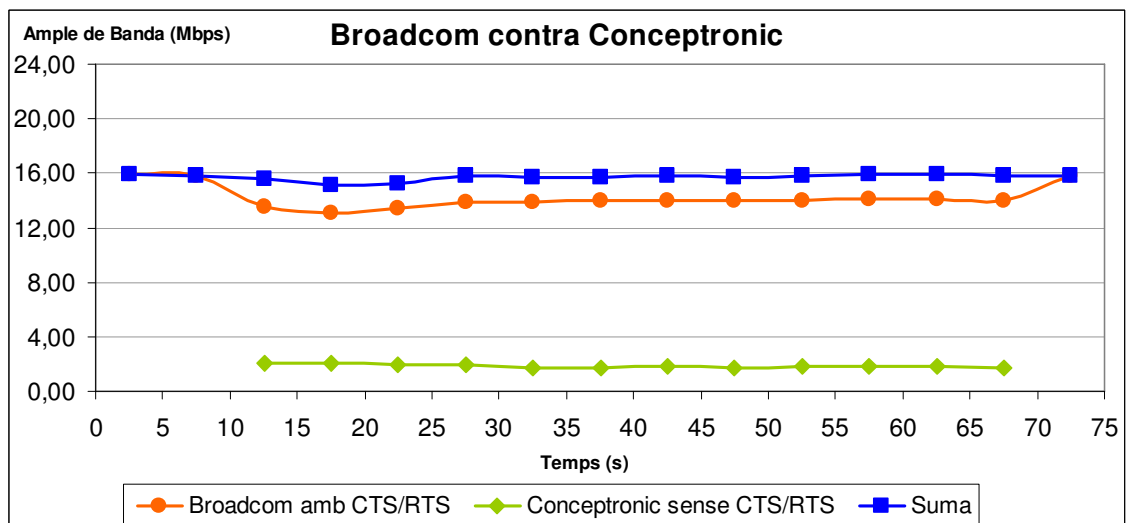


Fig. 4.8-3

#### 4.8.1.4. Conceptronic amb CTS/RTS

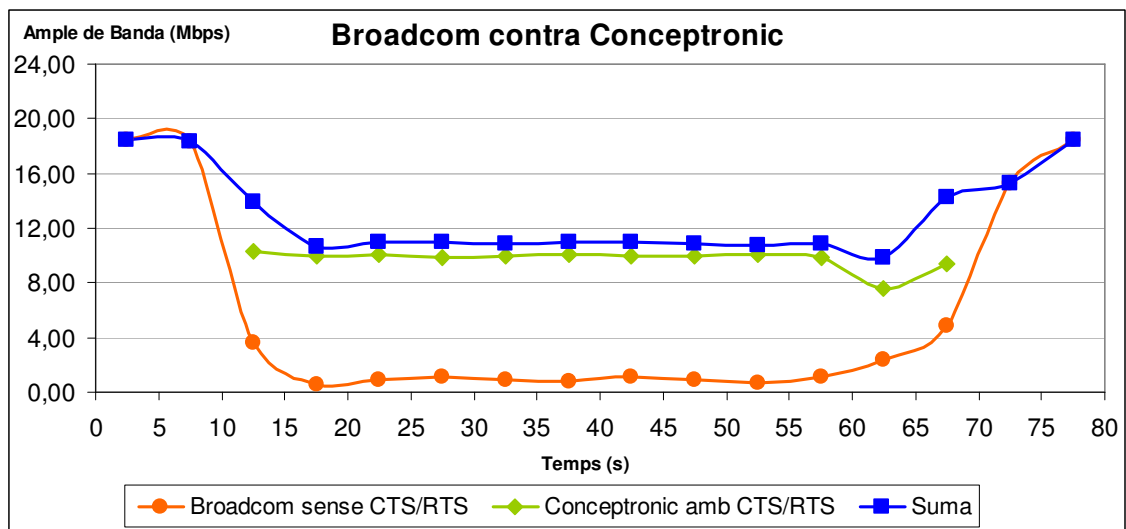


Fig. 4.8-4

#### 4.8.1.5. Tots amb CTS/RTS

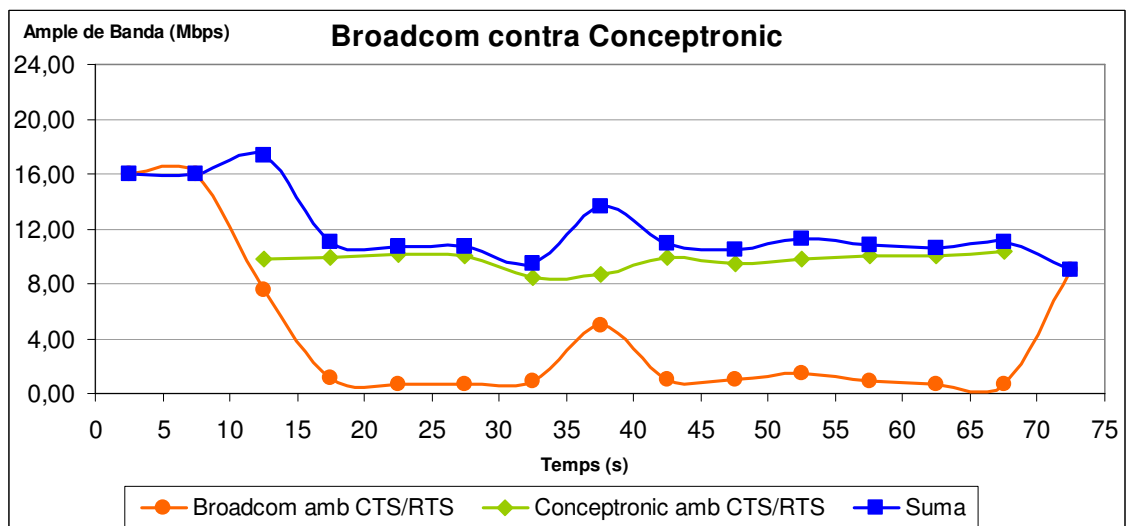


Fig. 4.8-5

#### 4.8.1.6. Conclusions

Per tal d'interpretar millor les gràfiques temporals reconvertirem les dades de velocitat a percentatge de canal.

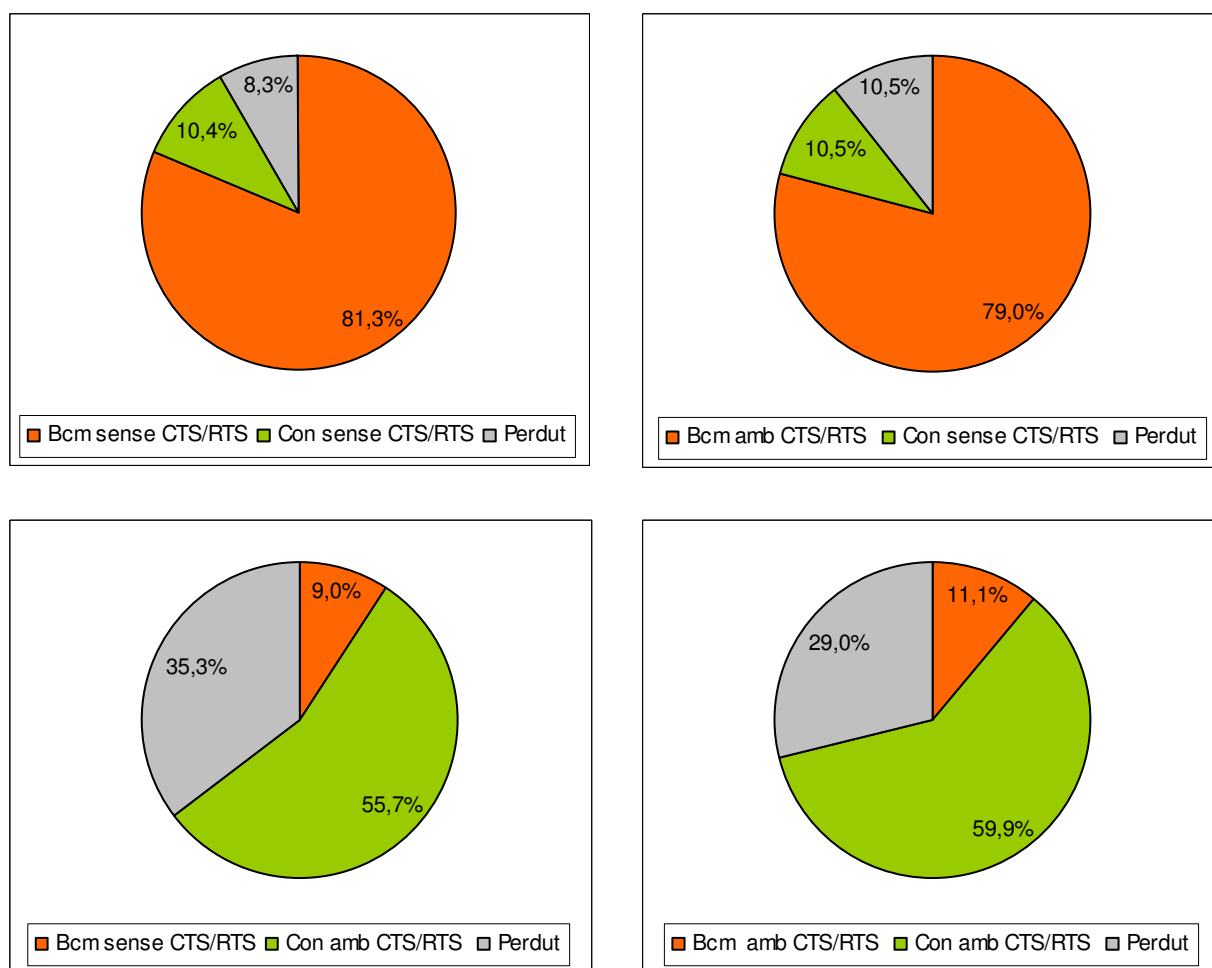


Fig. 4.8-6

A les gràfiques anteriors es mostra el percentatge del canal que es queda cada dispositiu del màxim disponible en cada cas, quan no hi ha cap amb algorisme RTS/CTS (18,80 Mbps) quan tots en tenen (16,20 Mbps) i en el cas de un amb RTS/CTS i l'altre sense serà la mitjana d'aquests valors (17,50 Mbps).

Així doncs una broadcom, per defecte té superioritat d'accés al medi sobre una conceptronic i el fet d'activar RTS/CTS a la broadcom l'únic que aconseguirà és disminuir la velocitat de transmissió sense afectar a la conceptronic. Ara bé quan la conceptronic activa el RTS/CTS es queda aproximadament un 50-60% del canal deixant el altre competidor sense canal, i produint-se un 30% de desaprofitament del canal.

#### 4.8.2. **Broadcom vs Atheros**

##### 4.8.2.1. **Muntatge**

Seguint amb el que succeeix quan els dispositius que intenten accedir al medi al mateix temps són diferents. En aquest cas utilitzarem l'alix (2) per transmetre i una broadcom (6). La velocitat de transmissió estarà fixada a 24Mbps i la potència a 5 dBm.



La transmissió iperf anirà del netbook amb broadcom (6) cap a un pc (4) passant per una fonera (5). I per altre banda des de un pc (3) per ethernet cap a un alix amb atheros (2) fins a un ordenador amb conceptronic (1).

Així doncs farem un test de repartiment del medi d'atheros amb broadcom.

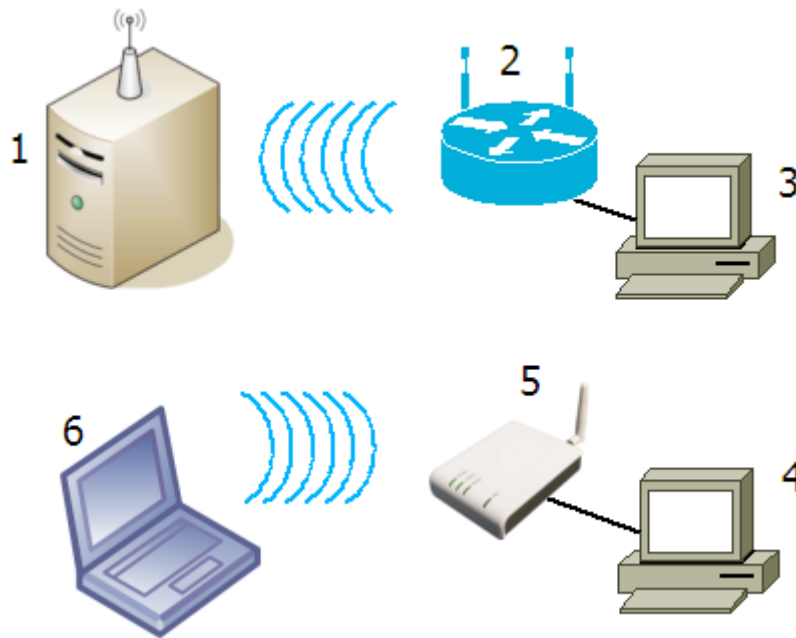


Fig. 4.8-7

#### 4.8.2.2. Cap dispositiu amb CTS/RTS

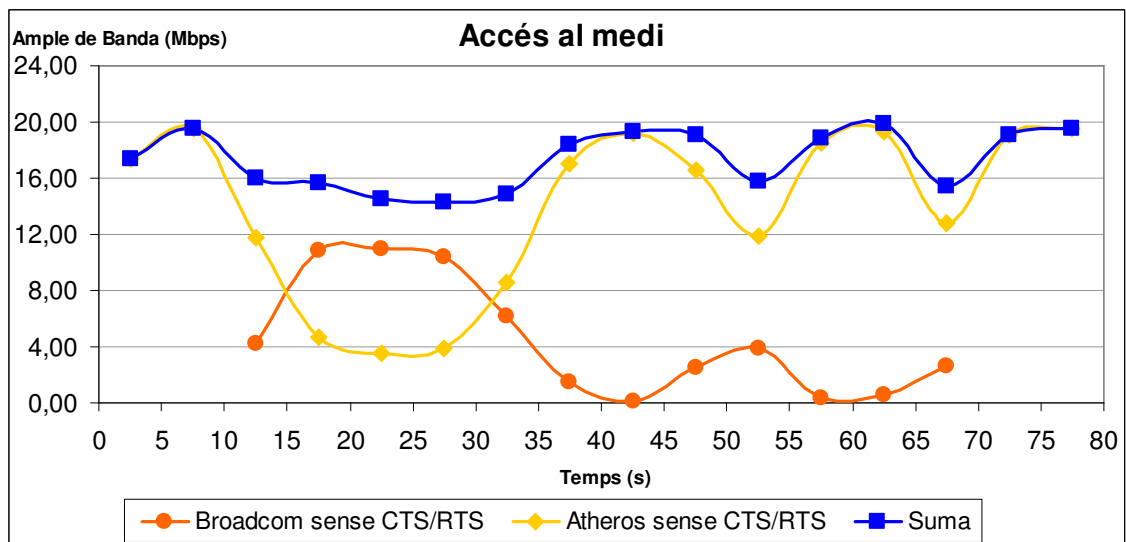


Fig. 4.8-8

#### 4.8.2.3. Atheros amb CTS/RTS

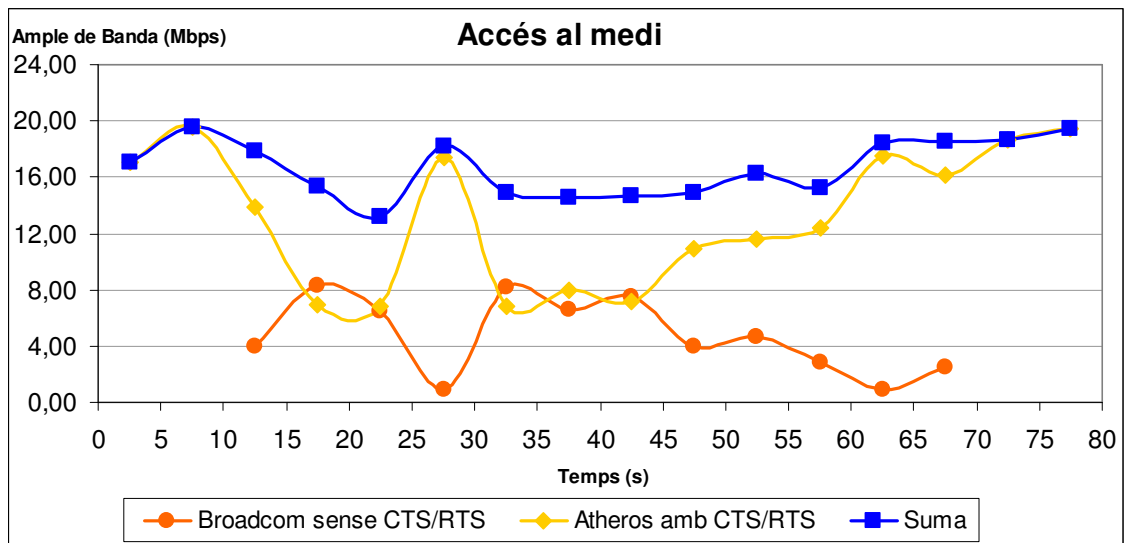


Fig. 4.8-9

#### 4.8.2.4. Broadcom amb CTS/RTS

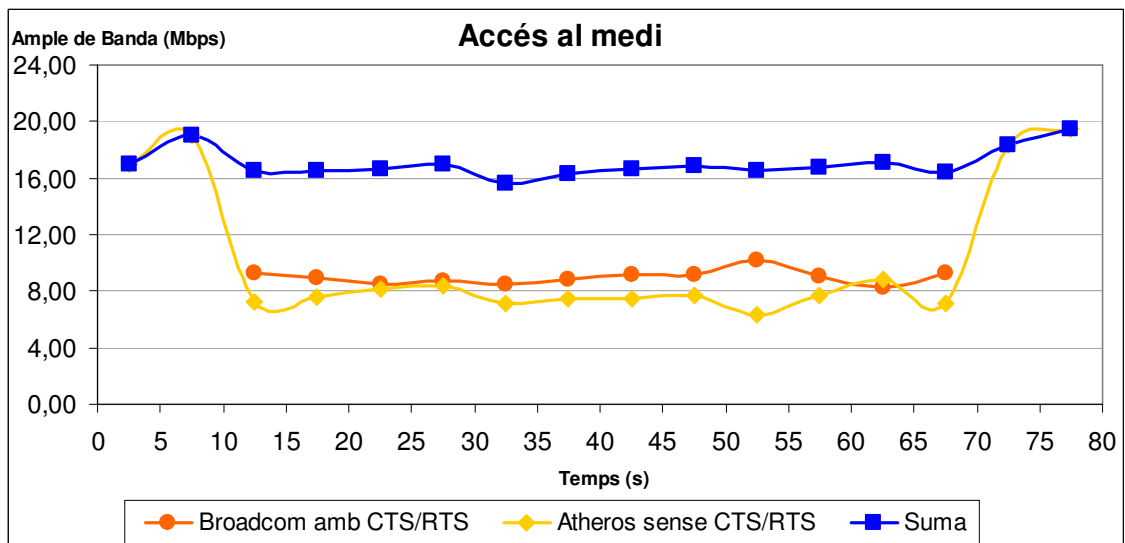


Fig. 4.8-10

#### 4.8.2.5. Tots amb CTS/RTS

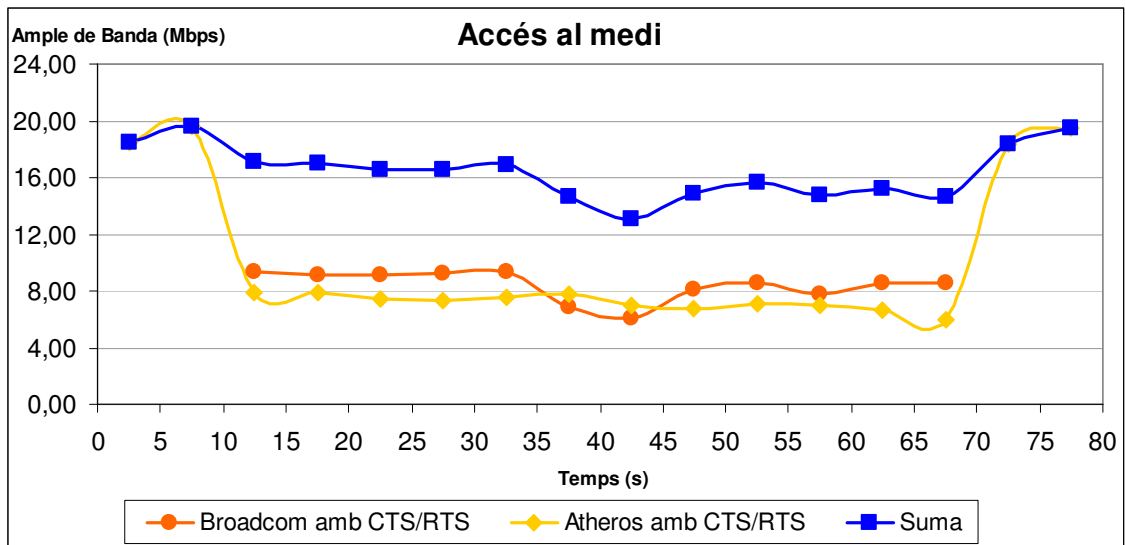
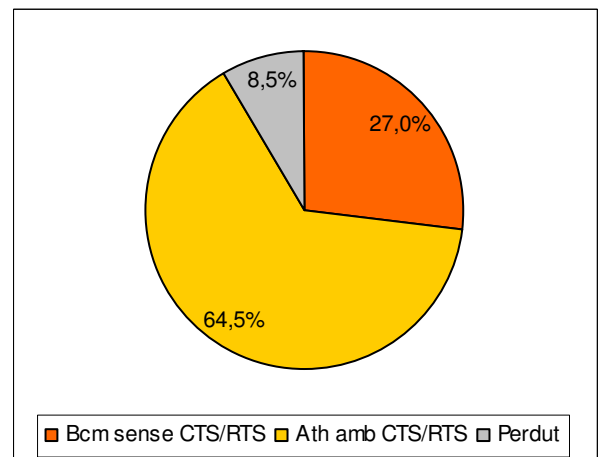
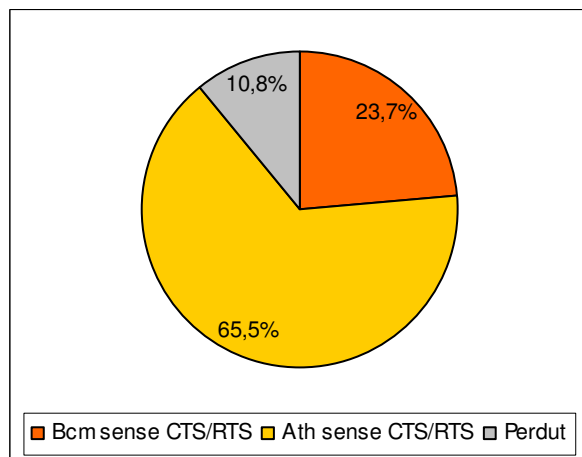


Fig. 4.8-11

#### 4.8.2.6. Conclusions

En els gràfics temporals podem observar com mentre broadcom no té activat el RTS/CTS, el repartiment del canal, tot i tenir-lo majoritàriament Atheros, és una mica caòtic, i hi ha alguns moments on broadcom aconsegueix el mateix o més canal que atheros. En canvi quan broadcom activa el RTS/CTS, el repartiment es manté estable durant tot els temps



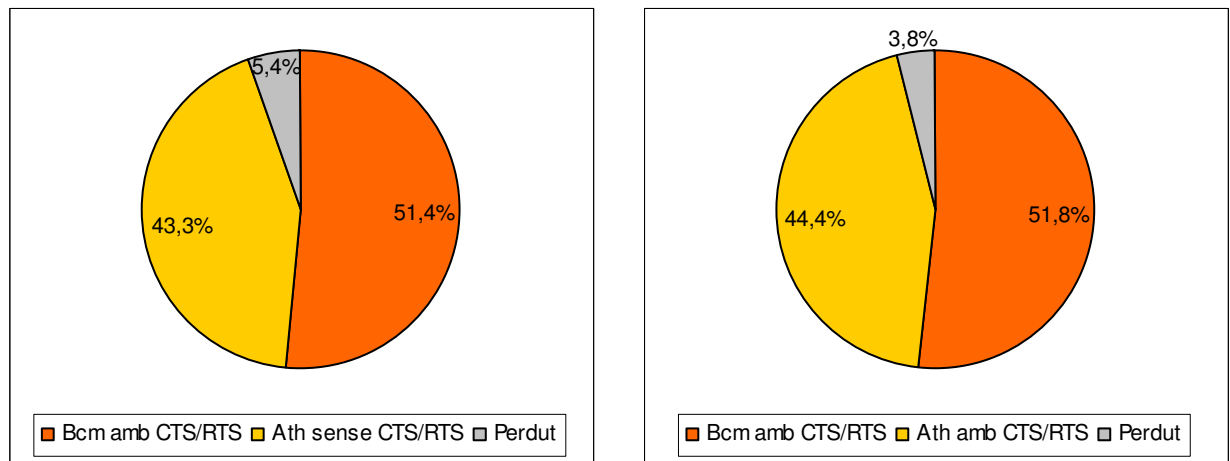


Fig. 4.8-12

En els gràfic s'observa com atheros té una major part del canal en els casos on broadcom no activa l'algorisme RTS/CTS, però quan aquesta activa el RTS/CTS obté més del 50% del canal disponible i es produeix un repartiment més equitatiu del canal. Cal mencionar que les pèrdues degudes a col·lisions, retransmissions i a augments del backoffs disminueixen en activar el RTS/CTS.

### 4.8.3. Conceptronic vs Atheros

#### 4.8.3.1. Muntatge

En aquesta ocasió utilitzarem dues foneres (2,5) configurades com a acces point, i com a clients de cada una de les xarxes diferents una conceptronic (3) i una broadcom (4).

La transmissió anirà des d'una conceptronic (3) cap a una fonera (2) fins a un pc (1), i per altre banda anirà des d'un pc (6) fins a la broadcom (4), passant per una fonera (5). Així doncs intentaran accedir al medi un atheros (fonera) (5) i una conceptronic (3).

Així doncs farem un test de repartiment del medi de atheros amb conceptronic.

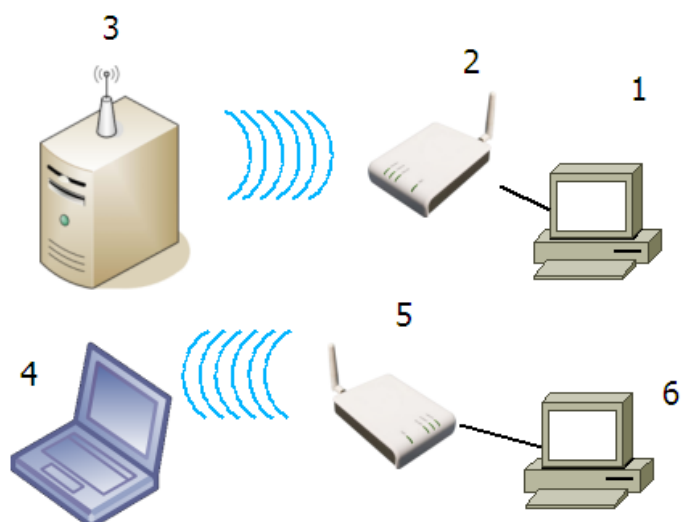


Fig. 4.8-13

#### 4.8.3.2. Cap dispositiu amb CTS/RTS

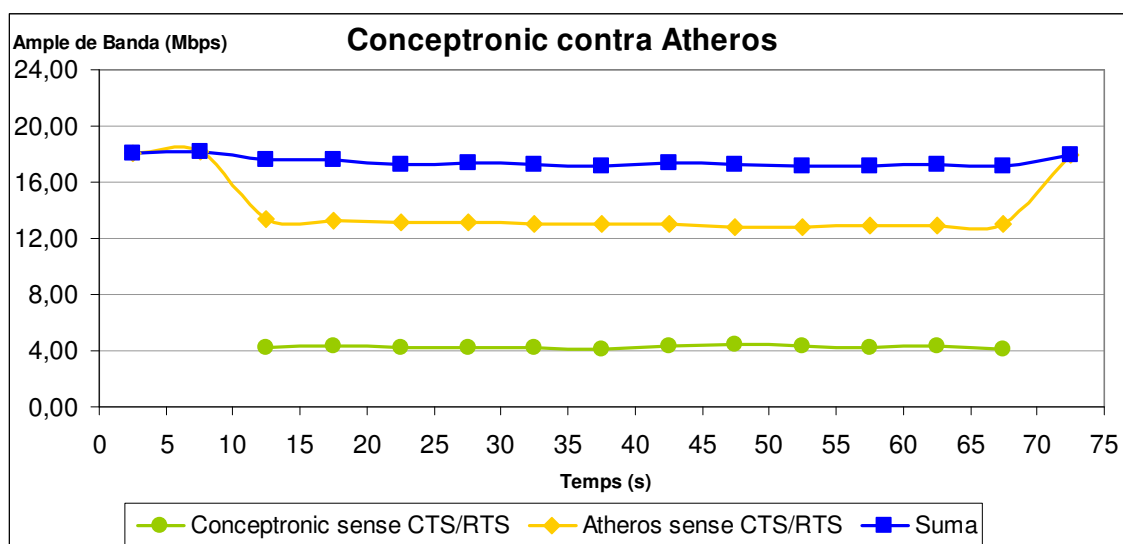


Fig. 4.8-14

4.8.3.3. Atheros amb CTS/RTS

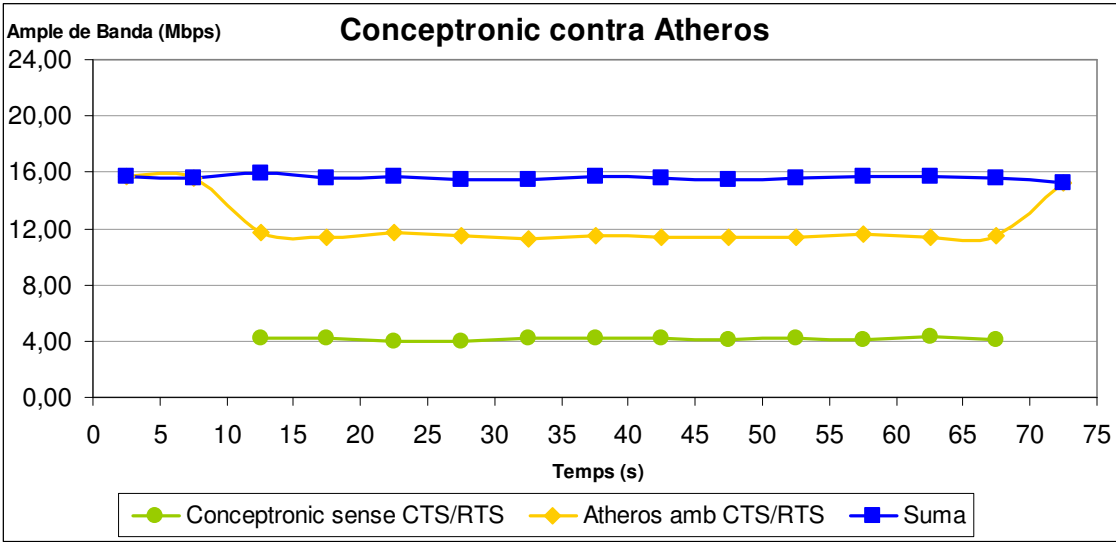


Fig. 4.8-15

4.8.3.4. Conceptronic amb CTS/RTS

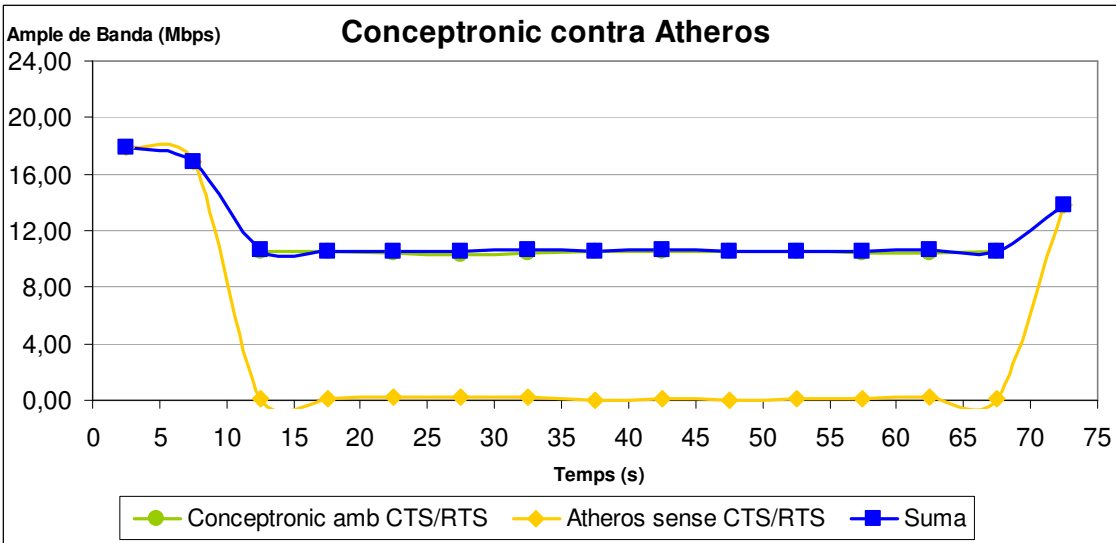


Fig. 4.8-16

#### 4.8.3.5. Tots amb CTS/RTS

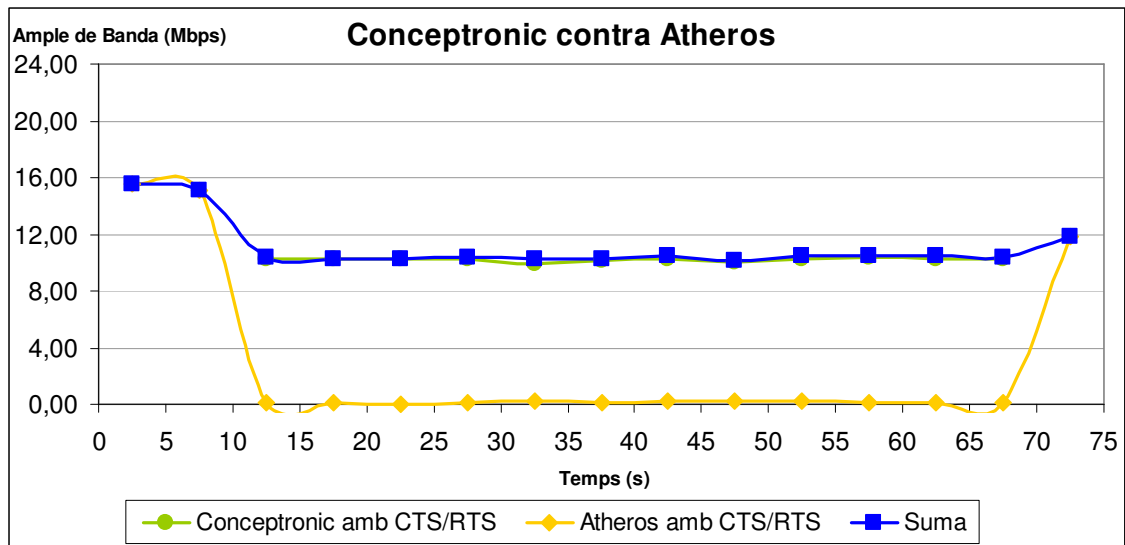


Fig. 4.8-17

#### 4.8.3.6. Conclusions

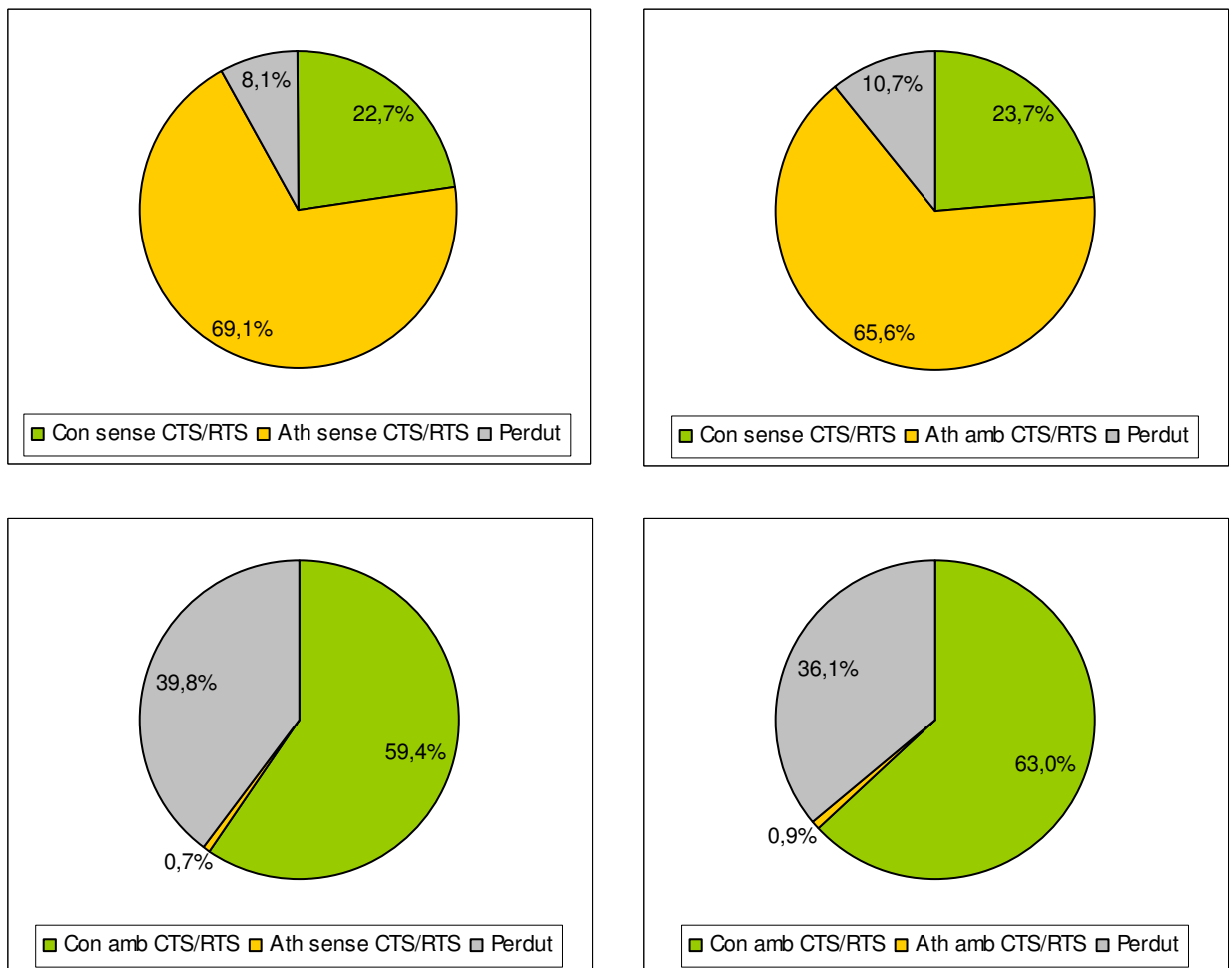


Fig. 4.8-18

Atheros obté la major part del canal quan conceptraon no té RTS/CTS, però la conceptraon té una petita part del canal. Però quan aquesta es configura amb RTS/CTS s'apropia d'un 60%, augmenta molt l'ample de banda desaprofitat, i a més a més impedeix a Atheros que transmeti, no li deixa ni un 1 Mbps.

#### **4.8.4. Conclusions**

Una tarja conceptraon només obté una petita part del canal, excepte quan activa l'algorisme RTS/CTS, que passa de tenir poc canal a ocupar la meitat d'aquest i impedir la comunicació als altres dispositius. Per altra banda les atheros i broadcom són respectuoses entre elles, però alhora de compartir el canal amb conceptraon no ho són tant.

És difícil dir perquè conceptraon té aquest comportament tan estrany, sobretot quan activa el RTS/CTS. Però els que si que varem observar, és que aquesta era incapaç d'enviar a més de 11 Mbps quan tenia el RTS/CTS activat, la qual cosa, tenint en compte que anava a modulació de 24, dista molt del màxim que hauria de ser. A més si capturàvem els paquets amb un sniffer, comprovàvem que enviava els RTS amb la modulació de 11 Mbps, És possible, tot i que no es pot comprovar. Pot ser que això afecti negativament a les altres estacions i així aconseguir la majoria del canal.

En resum, la tarja conceptraon és irrespectuosa quan activem el RTS/CTS i atheros no modifica el comportament tan si s'activa l'algorisme RTS/CTS o no.

Així doncs podem afirmar que cada fabricant interpreta l'estàndard a la seva manera.

### **4.9. Relació de l'ample de banda amb els nombre salts**

Un dels avantatges d'ad-hoc respecte d'infraestructura és que no necessitem passar per un punt d'accés. Si volem comunicar dos nodes que tenen visió directa entre ells, en ad-hoc poden fer-ho directament, però en infraestructura sempre haurà de passar tota la informació pel punt d'accés. Això és un problema ja que l'ample de banda total es dividirà pel nombre de salts. Amb aquesta prova determinarem per quin factor es divideix l'ample de banda en relació amb el nombre de salts.

#### **4.9.1. Muntatge**

En aquest cas utilitzarem una fonera (2) configurada com AP i els dos netboks (1,3) configurats com a clients de l'AP a 18 Mbps (per tal de no saturar la cpu de la fonera). El dispositiu 1 farà de client d'lperf mentre que el dispositiu 3 serà el servidor.



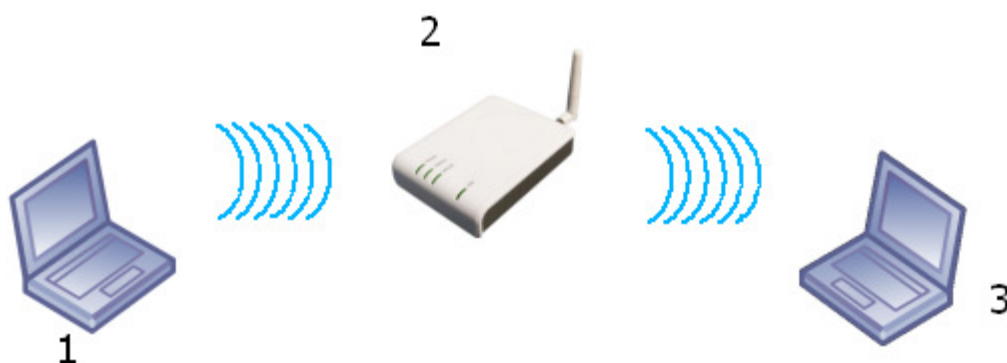


Fig. 4.9-1

#### 4.9.2. Resultat

Receptor

Interval (s)	Transferit (MBytes)	Ample de Banda (Mbps/s)	Jitter (ms)	Paquets Perduts	Paquets Totals	Percentatge Perduts
0.0- 5.0	3,38	5,68	3,827	830	3243	26%
5.0-10.0	3,24	5,44	5,483	1104	3415	32%
10.0-15.0	3,44	5,77	4,092	752	3207	23%
15.0-20.0	3,36	5,63	4,821	924	3318	28%
20.0-25.0	3,56	5,96	5,263	664	3200	21%
25.0-30.0	3,62	6,07	2,026	516	3098	17%
30.0-35.0	3,27	5,49	2,540	497	2832	18%
35.0-40.0	3,51	5,88	4,339	714	3215	22%
40.0-45.0	3,46	5,80	2,933	831	3296	25%
45.0-50.0	3,37	5,65	3,823	932	3334	28%
50.0-55.0	3,61	6,05	3,987	532	3105	17%
55.0-60.0	3,47	5,83	1,713	575	3053	19%
<b>0.0-60.3</b>	<b>41,4</b>	<b>5,76</b>	<b>7,425</b>	<b>8880</b>	<b>38416</b>	<b>23%</b>

#### 4.9.3. Conclusions

Observem com tenim un percentatge força alt de pèrdua de paquets, això es degut a que es produeix un overflow del buffer. Si les dades arriben a la mateixa velocitat a la que surten això acabarà omplint el buffer i els paquets sobrants cauran fora, produint-se overflow de dades. Això fa que l'ample de banda no s'hagi dividit per 2 (el nombre de salts), sinó que s'ha dividit per 2,5. Si això es complís igual per tots els salts podríem extrapolar que l'ample de banda s'acaba dividint pel nombre de salts multiplicar per 1,25.

### 4.10. 802.11b vs 82.11g

Al IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007 especifica que el temps d'slot de 802.11b és de 20  $\mu$ s, mentre que per a 802.11g aquest mateix temps és de 9  $\mu$ s, sempre que només tinguin clients g enllaçats. Això implica que l'algoritme de backoff, que utilitza el temps d'slot com a base de temps, serà més gran per a 802.11b.

#### 4.10.1. Muntatge

S'utilitzarà un muntatge simètric amb dues foneres (2,5) configurades per ser punts d'accés connectades per ethernet a dos pcs diferents (1,4) i dos netbooks (6,3) com a clients de les foneres.

La diferència resideix en que una de les foneres anirà a 802.11b a modulació de 11 Mbps i l'altre a 802.11g a 12 Mbps. Tots els dispositius tindran una potència de 5 dBm.

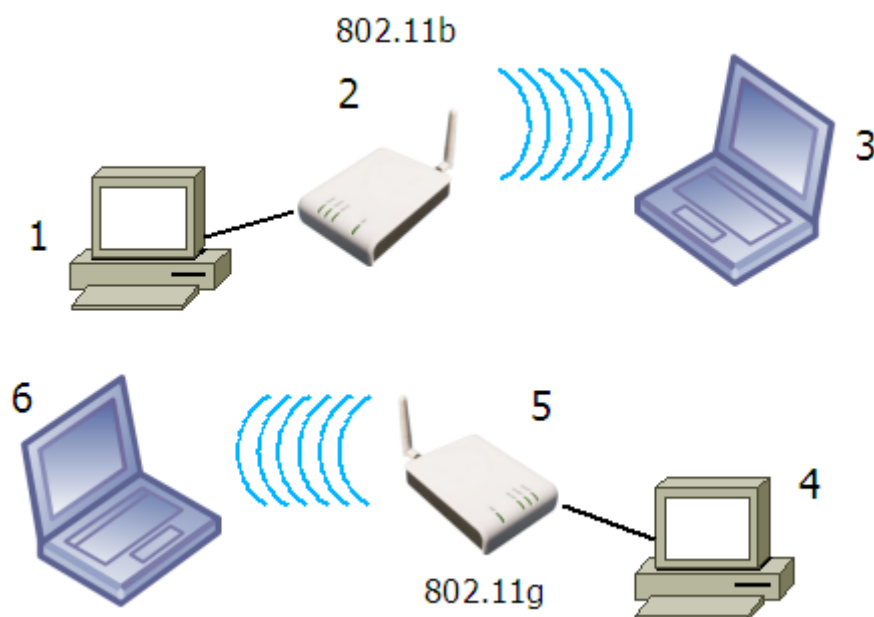


Fig. 4.10-1

#### 4.10.2. Resultat

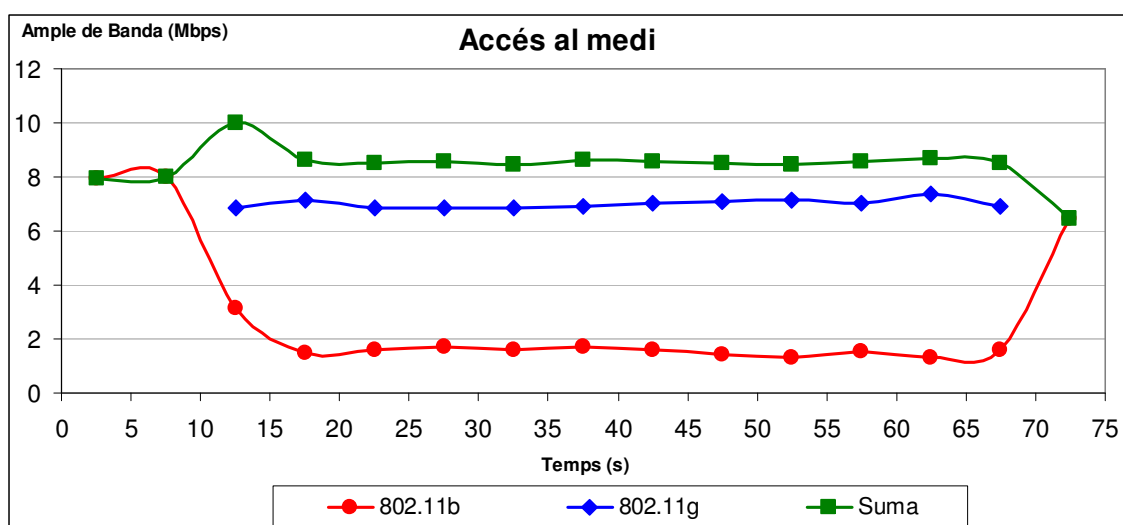


Fig. 4.10-2

### 4.10.3. Conclusions

S'observa que tot i que l'enllaç configurat a 802.11b funciona a la velocitat adequada quan està sol. En el moment que l'enllaç amb 802.11g transmet, aquest es queda la major part del canal, deixant menys de 2 Mb/s d'ample de banda a l'altre enllaç.

Si tenim en compte que, com hem explicat a la teoria, el temps d'slot de 802.11b és més gran que el de 802.11g, i que el backoff depèn directament d'aquest valor. És normal que les xarxes amb 802.11g tinguin avantatge i ocupin més part del canal, ja que és més probable que s'acabin esperant un temps de backoff més petit.

## 4.11. BSS amb clients 802.11g i 802.11b enllaçats

Segons el IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007 el temps de slot serà de format curt (9 µs), si i només si no hi ha cap estació 802.11b enllaçada a la xarxa. En aquesta prova comprovarem si aquest fet es compleix.

### 4.11.1. Muntatge

Aquest muntatge consistirà en una fonera (2) configurada com a AP i dos netbooks com a clients de la xarxa, un d'ells (1) configurat a modulació de 12Mbps (802.11g) i l'altre (4) configurat a 11Mbps (802.11b).

El servidor iperf estarà a al pc (3) i el client al portàtil (1), mentre que l'altre (4) restarà enllaçat fent pings a la fonera (2) per assegurar la connexió.

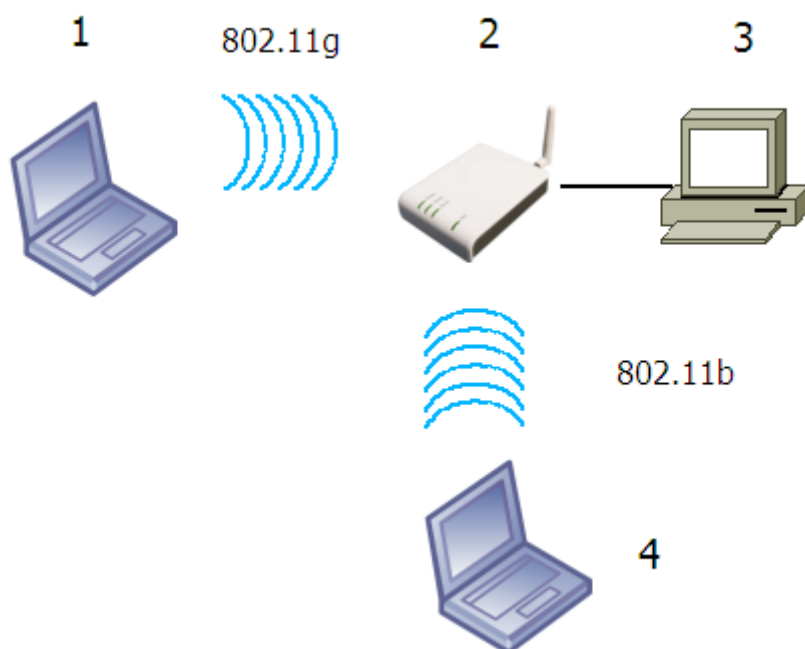


Fig. 4.11-1

#### 4.11.2. Resultat

Ample de banda sense client 802.11b

##### Receptor

Interval (s)	Transferit (MBytes)	Ample de Banda (Mbps/s)	Jitter (ms)	Paquets Perduts	Paquets Totals	Percentatge Perduts
0.0- 5.0	11,00	18,40	0,163	0	7825	0%
5.0-10.0	11,00	18,40	1,404	0	7815	0%
10.0-15.0	11,10	18,50	1,105	0	7886	0%
15.0-20.0	11,10	18,60	0,850	0	7895	0%
20.0-25.0	10,90	18,40	1,808	0	7803	0%
25.0-30.0	11,00	18,50	0,233	0	7870	0%
30.0-35.0	11,00	18,50	0,170	0	7848	0%
35.0-40.0	11,00	18,50	0,161	0	7875	0%
40.0-45.0	11,00	18,50	0,155	0	7850	0%
45.0-50.0	10,90	18,20	0,816	0	7758	0%
50.0-55.0	10,90	18,20	0,148	0	7743	0%
55.0-60.0	11,00	18,50	0,942	0	7854	0%
<b>0.0-60.0</b>	<b>132</b>	<b>18,4</b>	<b>1,022</b>	<b>0</b>	<b>94059</b>	<b>0%</b>

Ample de banda amb client 802.11b enllaçat

##### Receptor

Interval (s)	Transferit (MBytes)	Ample de Banda (Mbps/s)	Jitter (ms)	Paquets Perduts	Paquets Totals	Percentatge Perduts
0.0- 5.0	10,80	18,10	1,751	7	7701	0,091%
5.0-10.0	11,00	18,50	0,707	0	7881	0%
10.0-15.0	10,80	18,20	0,360	0	7736	0%
15.0-20.0	10,80	18,10	0,764	0	7707	0%
20.0-25.0	10,80	18,20	0,744	0	7724	0%
25.0-30.0	11,10	18,60	0,752	0	7896	0%
30.0-35.0	11,10	18,60	1,027	0	7899	0%
35.0-40.0	11,00	18,50	0,212	0	7857	0%
40.0-45.0	11,10	18,60	1,515	28	7917	0,35%
45.0-50.0	11,00	18,50	0,274	0	7865	0%
50.0-55.0	11,00	18,50	0,914	0	7850	0%
55.0-60.0	11,10	18,60	0,883	0	7897	0%
<b>0.0-60.0</b>	<b>132</b>	<b>18,4</b>	<b>0,845</b>	<b>34</b>	<b>93966</b>	<b>36%</b>

#### 4.11.3. Conclusions

Tot i les especificacions del IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007 comprovem que l'ample de banda no varia en enllaçar-hi un client 802.11b a la xarxa. Així doncs queda desmentit que en enllaçar-se un client amb 802.11b impedeixi tota comunicació emprant Short Slot Time. És a dir, en una xarxa 802.11g no afecta la velocitat de transmissió per molt que s'hi connecti algun client amb 802.11b (almenys amb el firmware OpenWRT).

## 4.12. Node ocult

Per tal de reproduir el problema conegut com a node ocult, i comprovar la efectivitat e l'algorisme RTS/CTS per solucionar-lo. S'ha realitzat el muntatge descrit a la [Fig. 4.12-1], on utilitzant una disposició que impedeixi als dispositius la visió directa entre ells, s'ha intentat produir col·lisions en el punt on es troben les foneres.

### 4.12.1. Muntatge

Per tal de reproduir el problema de node ocult utilitzarem dues xarxes diferents utilitzant dues foneres (3,4). Per tal de simplificar el muntatge estaran ambdues connectades al mateix pc, a dos interfícies ethernet diferents.

Cada una de les dues foneres configurades com a AP tindrà un client que serà un netbook (1,5). Tots els dispositius wireless d'aquest muntatge estan configurats a 11Mbps i a 5dBm de potència.

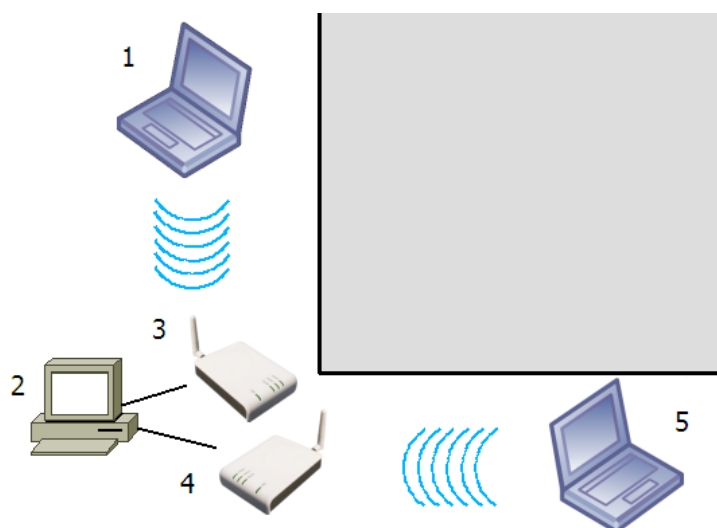


Fig. 4.12-1

#### 4.12.2. Resultat

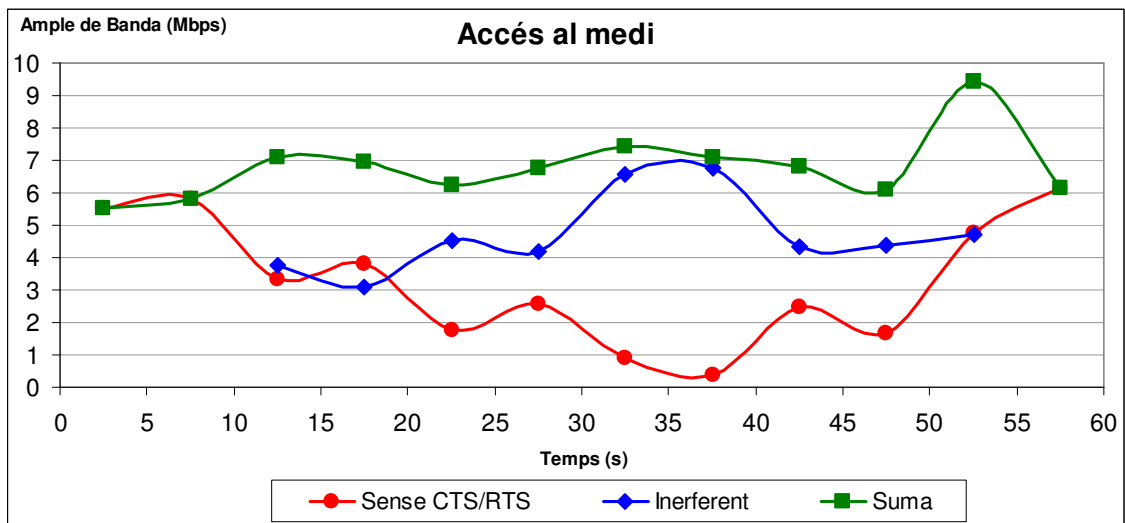


Fig. 4.12-2

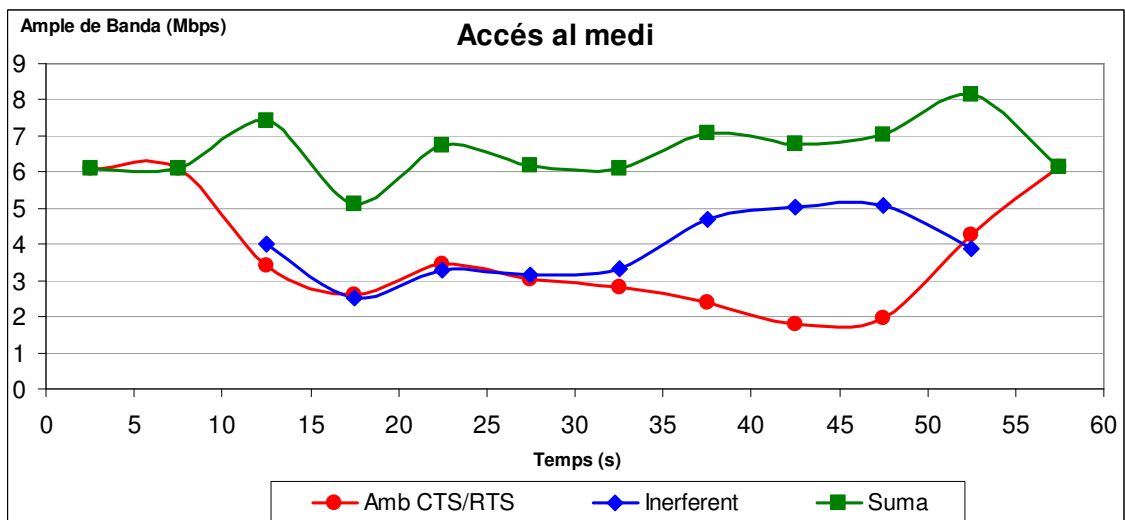


Fig. 4.12-3

#### 4.12.3. Conclusions

En el primer cas observem com sembla que un enllaç es queda una part més gran del canal, i que el total del canal a causa de la distància i les col·lisions no és el màxim possible.

En el segon cas, quan activem el RTS/CTS, sembla que el canal es reparteix una mica millor, però l'enllaç que no té CTS/RTS, continua quedant-se una part més gran del canal.

En teoria, l'algorisme RTS/CTS, està pensat per evitar les col·lisions produïdes pel problema del node ocult, però les proves que hem fet semblen indicar que no compleix correctament aquesta funció, i que no afecta significativament si l'activem o no. La falta de resultats coherents en aquesta

proba ens indica que és inconcloent, i no dona una resposta clara a l'utilitat del RTS/CTS.

La nostra hipòtesi, després de les diferents proves que hem fet, és que: Quan els enllaços no tenen visió directa, i no en tenim prou comprovant si el canal està ocupat abans de transmetre, perquè no sabem quan transmeten els altres enllaços. Resulta molt més important la potencia amb la que es reben els senyals que no pas si activem l'RTS/CTS.

Creiem que si un node rep amb més qualitat i potencia, sempre que la diferencia sigui prou gran, les senyals dels altres enllaços, aquests s'imposaran sobre els nostres paquets fent que es perdin els nostres, i deixaran els seus amb prou qualitat com per ser interpretats.

## **5. Resum de conclusions**

- La velocitat màxima aconseguida amb qualsevol modulació dista molt de la velocitat de la pròpia modulació, la qual es pensava que corresponia al màxim, sobretot amb les modulacions més altes.
- Les xarxes configurades amb ad-hoc, són més lentes, i més propenses a perdre el canal enfront d'altres xarxes. Així en un entorn on hi hagi més enllaços wireless transmetent al mateix canal, aquestes seran més susceptibles de perdre el canal i reduir el seu ample de banda.
- A la hora de la veritat cada fabricant interpreta l'estàndard a la seva manera i l'implementa com vol als seus dispositius. Això provoca que, encara que, tots els dispositius s'haurien de comportar igual, quan diferents dispositius transmeten alhora, succeeixin coses estranyes i el canal s'acabi repartint de manera desigual. A més també provoca que el fet d'activar l'algorisme RTS/CTS afecti al repartiment del canal quan no tindria per què.

Tot això provoca que alguns dispositius siguin més irrespectuosos i acabin apoderant-se del canal, i que els que siguin més respectuosos no puguin gairebé ni transmetre.

- Tot i ser 802.11b més robusta amb la distància, aquesta té més problemes per accedir al canal quan està en un entorn urbà, on la majoria dels altres enllaços funcionen amb 802.11g.
- S'ha de tenir en compte que sempre que haguem de passar per més d'un node, cada salt comportarà una divisió, directament proporcional al nombre de salts, de l'ample de banda total. A més si els diferents enllaços de la ruta funcionen a la mateixa velocitat, o els de sortida són més lents que els d'entrada; tindrem overflow als buffers, i encara tindrem una mica més de pèrdua de velocitat, degut als paquets perduts.

- Pel que fa a la compartició del medi, en wireless la part més important és el backoff, ja que si per algun motiu un dispositiu espera un temps de backoff més petit, aquest tindrà molta més prioritat que els altres per accedir al canal.

El backoff depèn directament del temps d'slot i del CWmin i el CWmax, això fa que ad-hoc i 802.11b, que tenen un temps d'slot més gran, tinguin més problemes per accedir al medi. A més tot i que els valors de CWmin i CWmax s'especifiquen en l'estàndard, no tothom utilitza els valors predefinits, i a més a més aquests, en alguns dispositius aquests es poden canviar per software.

- La nostra hipòtesi és: a la pràctica l'algorisme RTS/CTS no sembla tenir una especial rellevància per solucionar el problema del node ocult. En canvi sembla que en alguns dispositius més concrets, i en alguns casos més concrets ajuda a obtenir un millor repartiment del canal.

## 6. Casos pràctics reals

### 6.1. Cas A:

Si en un node que ofereix connexió a Internet de 6Mbps té un client connectat, quina és la configuració òptima?



Fig. 6.1-1

En el cas més senzill amb una modulació de 9Mbps o 11Mbps n'hi haurà prou. Segons la situació serà millor una modulació que una altre, es a dir, si es tracta d'un node aïllat sense altres xarxes no importarà quina modulació triem. Ara bé, si ens trobem en un entorn densament poblat per altres dispositius wireless, la millor opció és triar 802.11g (9Mbps). Tot això suposant infraestructura sense RTS/CTS, que és la millor solució en aquest cas.

### 6.2. Cas B:

Si en un node que ofereix connexió a Internet de 6Mbps té 10 clients connectats alhora, quina és la configuració òptima?





**Fig. 6.2-1**

Com ja hem vist en les proves, és millor utilitzar un enllaç en mode infraestructura, sense RTS/CTS.

En el millor dels casos en que només envii un dels 10 clients i no hi hagi interferències d'altres BSSID necessitem una modulació de 9Mbps per aprofitar els 6Mbps.

Per altre banda, suposant que els 10 enviïn alhora els temps de backoff s'ampliaran fins al CWmax, és a dir que per a una modulació 802.11g serà de mitjana d'uns 529,21  $\mu$ s i per 802.11b 1176,03  $\mu$ s per a cada paquet, així doncs l'ample de banda del canal que hauran de compartir les 10 estacions, serà per a cada una de les modulacions:

Mod	BW[Mbps]
54	16,80
48	16,13
36	14,41
24	11,88
18	9,97
12	7,70
9	6,17
6	4,52

Mod	BW[Mbps]
11	5,53
5,5	3,56
2	1,59
1	0,85

Es a dir, en el pitjor dels casos, quan transmetin suficients estacions perquè el backoff augmenti fins al màxim, necessitem una modulació de 9Mbps per aconseguir 6Mbps per a tots 10 clients; a cadascun li correspondrà 617Kbps.

Que totes les estacions transmetin exactament al mateix moment, i el backoff pugui augmentar tant, és molt poc probable. Si suposem que en el cas més probable només transmetran 3 estacions al mateix moment, i que això suposarà un backoff de 67,5  $\mu$ s de mitjana (1 intent d'accés de mitjana). Així que amb una modulació de 9 Mbps igualment en tindrem prou.

### 6.3. Cas C:

Si un node que ofereix connexió a Internet de 6Mbps està connectat a un repetidor amb un client, quina es la configuració òptima de les màquines?



Fig. 6.3-1

Per tal de poder retransmetre els 6Mbps a un segon node, farà falta al menys 2,5 vegades aquest valor, 15Mbps. Així serà necessària una modulació de 24Mbps.

#### 6.4. Cas D:

Si un node que ofereix connexió a Internet de 6Mbps està connectat a un repetidor amb 10 clients, quina es la configuració òptima de les màquines?



Fig. 6.4-1

En el pitjor cas, quan les 10 estacions transmetin a la vegada, aquestes es repartiran el 6 Mbps entre elles, però l'enllaç entre 1 i 2 consumirà els 6 Mbps sencers, i com que el canal es repartirà equitativament, entre els 10 clients i l'enllaç entre 1 i 2, necessitem que tots els enllaços suportin els 6 Mbps, i com que haurà de reenviar-se necessitem tenir els 6 Mbps multiplicats per 2,5. Així necessitem la modulació de 48 Mbps com a mínim.

Si tenim 11 enllaços accedint al canal al mateix moment també farà augmentar força el backoff, i com hem vist en el cas b, 48 i 54 Mbps, són les úniques modulacions que poden enviar més de 15 Mbps, quan tenim tantes estacions a la vegada.

Si suposem que en el cas més probable només 3 estacions transmetran a la vegada, en el cas més probable, tenim que amb la modulació de 24 Mbps en tindrem suficient.

Una altra opció que tenim és utilitzar velocitats de modulació diferents, així, en els cas de 3 clients transmeten a la vegada, podem posar els clients funcionant a 18 Mbps, i només el punt d'accés a 24 Mbps. D'aquesta manera s'evita la saturació dels buffer i al no tenir tanta pèrdua els clients en tindran prou anant a 18 Mbps, i només caldrà al node 1, quan actuï de client del node 2 anar a 24 Mbps.

## 6.5. Cas E:

Si tenim un node que està en un entorn amb altres emissors que transmeten regularment, quina és la configuració òptima?

En aquest cas, hem de tenir en compte que l'ample de banda es dividirà pel nombre total d'enllaços que estiguin transmetent, siguin nostres o interferents. A més, el més recomanat és utilitzar un mode que permeti Short Slot Time, per tal de que les senyals interferents no s'apropiïn del canal. Tant 802.11b com ad-hoc no permeten aquest mode, la única configuració que ho permet és qualsevol modulació de 802.11g amb mode Infraestructura.

Si el driver ho permet es pot intentar canviar els CWmin i CWmax a valors més petits per tal d'aconseguir un backoff menor, i obtenir una part major del canal. Depenent de quins dispositius el fet d'activar el CTS/RTS pot ajudar a repartir més equitativament el canal (en Atheros no serveix).

## 7. Bibliografia

- [1] Pont Simó, Francesc, (2009) *OpenWRT.Linux per a dispositius embedded*.  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7248/2/TREBALL.pdf>
- [2] IEEE Computer Society, (2007) *IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007*.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>
- [3] OpenWRT. Web. <http://openwrt.org/>
- [4] Descripció standards wifi. Web. <http://es.kioskea.net/contents/wifi/>
- [5] Benhrouz A. Forouzan, (2007) *Data communications and networking*

## **Índex de Figures**

Fig. 2.1-1 .....	6
Fig. 2.1-2 .....	6
Fig. 2.1-3 .....	7
Fig. 2.1-4 .....	8
Fig. 2.3-1 .....	9
Fig. 2.4-1 .....	10
Fig. 2.4-2 .....	11
Fig. 3.1-1 .....	12
Fig. 3.1-2 .....	13
Fig. 3.1-3 .....	14
Fig. 3.2-1 .....	15
Fig. 3.2-2 .....	16
Fig. 3.3-1 .....	17
Fig. 3.3-2 .....	18
Fig. 3.3-3 .....	18
Fig. 4.1-1 .....	23
Fig. 4.1-2 .....	24
Fig. 4.1-3 .....	25
Fig. 4.1-4 .....	25
Fig. 4.3-1 .....	28
Fig. 4.3-2 .....	29
Fig. 4.3-3 .....	30
Fig. 4.3-4 .....	31
Fig. 4.3-5 .....	31

Fig. 4.3-6.....	32
Fig. 4.3-7.....	32
Fig. 4.3-8.....	33
Fig. 4.3-9.....	33
Fig. 4.3-10.....	34
Fig. 4.3-11.....	34
Fig. 4.4-1.....	35
Fig. 4.4-2.....	36
Fig. 4.4-3.....	37
Fig. 4.4-4.....	37
Fig. 4.4-5.....	38
Fig. 4.4-6.....	39
Fig. 4.4-7.....	40
Fig. 4.4-8.....	40
Fig. 4.4-9.....	41
Fig. 4.4-10.....	41
Fig. 4.5-1.....	42
Fig. 4.5-2.....	42
Fig. 4.5-3.....	43
Fig. 4.5-4.....	43
Fig. 4.6-1.....	44
Fig. 4.6-2.....	45
Fig. 4.6-3.....	45
Fig. 4.6-4.....	46
Fig. 4.6-5.....	46
Fig. 4.7-1.....	47
Fig. 4.7-2.....	47

Fig. 4.7-3.....	48
Fig. 4.7-4.....	48
Fig. 4.7-5.....	49
Fig. 4.7-6.....	49
Fig. 4.7-7.....	50
Fig. 4.8-1.....	51
Fig. 4.8-2.....	52
Fig. 4.8-3.....	52
Fig. 4.8-4.....	53
Fig. 4.8-5.....	53
Fig. 4.8-6.....	54
Fig. 4.8-7.....	55
Fig. 4.8-8.....	55
Fig. 4.8-9.....	56
Fig. 4.8-10.....	56
Fig. 4.8-11.....	57
Fig. 4.8-12.....	58
Fig. 4.8-13.....	59
Fig. 4.8-14.....	59
Fig. 4.8-15.....	60
Fig. 4.8-16.....	60
Fig. 4.8-17.....	61
Fig. 4.8-18.....	61
Fig. 4.9-1.....	63
Fig. 4.10-1.....	64
Fig. 4.10-2.....	64
Fig. 4.11-1.....	65

Fig. 4.12-1 .....	67
Fig. 4.12-2 .....	68
Fig. 4.12-3 .....	68
Fig. 6.1-1 .....	70
Fig. 6.2-1 .....	71
Fig. 6.3-1 .....	72
Fig. 6.4-1 .....	72